corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 1 - 7 ottobre 1961 - un fascicolo lire 150 50° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese - Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

TECNICA delle MICROONDE (S.H.F.)

Dopo aver esaminato le V.H.F. e le U.H.F., ci occuperemo ora, secondo quanto abbiamo esposto a pagina 1129 a proposito della suddivisione delle frequenze superiori ai 30 MHz, delle microonde (S.H.F.).

I circuiti ed i componenti impiegati nelle apparecchiature funzionanti con microonde sono assai differenti da quelli adottati nei circuiti testé visti. Ad esempio, i dispositivi per la trasmissione e la ricezione non si basano sull'impiego nè delle linee coassiali, nè delle linee bifilari precedentemente considerate: si ricorre all'uso di conduttori speciali che, per la loro struttura, prendono il nome di **guide d'onda**. Ciò avviene già con frequenze superiori a 1.000 MHz, anche se queste possono essere classificate ancora nelle U.H.F. Abbiamo già detto, del resto, che una suddivisione netta non può sussistere, e che si hanno zone di transizione da una gamma all'altra, assai estese.

Cenno storico

I primi esperimenti probanti sulle microonde furono effettuati nel 1936: verso il 1940, venne realizzato in Inghilterra un dispositivo elettronico detto « magnetron » a cavità, del quale ci occuperemo tra breve, mediante il quale fu possibile, per la prima volta, produrre microonde con un livello di potenza apprezzabile.

Durante l'ultima guerra mondiale, le microonde vennero sfruttate vantaggiosamente nel funzionamento di particolari impianti (i « radar »), basati sulla sfruttamento dei fenomeni di riflessione di tali onde. Il « radar » fu di grande utilità per scopi bellici ed è molto utile tuttora nella navigazione aerea e marittima: sono sempre in corso studi ed esperimenti per migliorarne le prestazioni. Esamineremo, più avanti, con un certo dettaglio, questa utilissima invenzione. Nella medesima epoca, furono tentate, con successo, applicazioni delle microonde nel campo delle comunicazioni radiotelefoniche, ed attualmente le microonde vengono anche sfruttate nel campo della televisione (ponti radio).

Le microonde rivelarono presto particolari loro vantaggi: anzitutto, nei confronti della propagazione, a causa della forte direzionalità esse consentono l'impiego di antenne di alto rendimento e di piccolissime dimensioni, e le apparecchiature, pur erogando una potenza relativamente ridotta, offrono la possibilità di comunicazioni a notevole distanza. A ciò occorre aggiungere che, nel campo delle microonde, è possibile — grazie all'elevato valore della frequenza portante — disporre di ampiezze di banda di modulazione molto maggiori che non nel campo delle V.H.F. e delle U.H.F. Sotto questo punto di vista, le apparecchiature funzionanti su microonde sono quindi di assai maggiore utilità pratica di quelle funzionanti nelle gamme di frequenze inferiori. Un impianto per utilizzazione telefonica funzionante su tali frequenze può, ad esempio, consentire più di mille conversazioni contemporanee.

PROPAGAZIONE delle MICROONDE

Abbiamo visto in diverse occasioni come si possono variamente definire le radioonde a seconda della loro propagazione: conosciamo infatti, le onde dirette, le onde riflesse, le onde di superficie (terrestri) e le onde spaziali. In grande prevalenza, le apparecchiature funzionanti con microonde sfruttano la sola propagazione dell'onda diretta; in alcuni casi, ha comunque una certa importanza anche l'onda riflessa. In ciò notiamo già un differenziamento di comportamento rispetto alle apparecchiature similari funzionanti nel campo delle V.H.F.: ivi, l'onda diretta e l'onda riflessa assumono a volte la medesima importanza. Le onde di superficie e le onde spaziali perdono importanza pratica per quanto riguarda le microonde. L'onda terrestre viene raramente utilizzata, e l'onda spaziale può essere considerata assente, per la scarsa rifrazione che essa subisce da parte degli strati ionizzati della stratosfera.

Un fattore di notevole importanza per la riflessione è la natura della superficie riflettente. Se la superficie è levigata, qualsiasi ammontare di energia in arrivo può essere riflesso pressochè interamente in maniera utile: al contrario, se la superficie è irregolare, l'energia che la colpisce viene riflessa in numerose direzioni diverse, per cui solo una piccola parte dell'energia stessa verrà riflessa in una determinata direzione. L'acqua ad esempio, agisce nei confronti delle microonde come una superficie levigata, mentre la superficie terrestre solida si comporta come una superficie irregolare.

La **figura 1-A** illustra la riflessione delle microonde da parte di una superficie perfettamente piana, e la figura 1-**B** illustra invece la riflessione che si verifica da parte di una superficie scabrosa. Nel primo caso, l'energia viene inviata tutta in un'unica direzione per cui ad una certa distanza essa è disponibile in tutta la sua potenza: nel secondo caso l'energia viene dispersa in tante direzioni.

La direzione di propagazione delle microonde, siano esse dirette o riflesse, è generalmente un po' curva. I

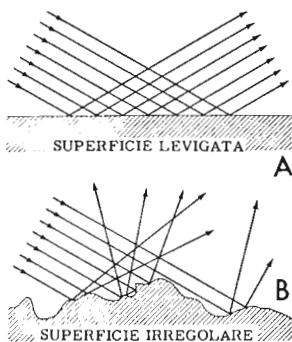



Fig. 1 - In A, riflessione da parte di una superficie piana. In B, riflessione (con perdita di potenza) da parte di una superficie irregolare.

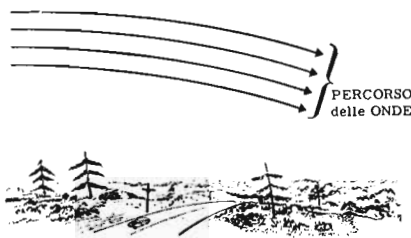



Fig. 2 - Propagazione delle S.H.F. lungo direzioni leggermente curve, che seguono, a seconda delle caratteristiche degli strati dell'atmosfera, la curvatura della terra.

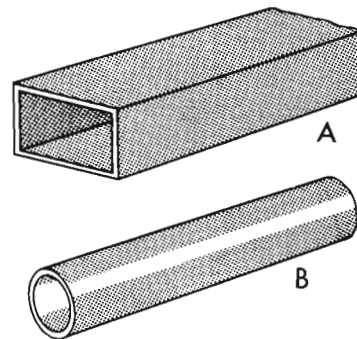



Fig. 3 - Le guide d'onda possono essere a sezione rettangolare (A) o a sezione circolare (B). Ne esistono anche a sezione quadrata, ossia con i due lati eguali tra loro.

segnali si spostano attraverso l'atmosfera con una velocità che dipende dalla temperatura, dalla pressione atmosferica, e dalla percentuale di vapor d'acqua contenuta nell'atmosfera stessa. In genere, maggiore è la temperatura, maggiore è la velocità di propagazione: minore è la pressione atmosferica e la quantità di vapor d'acqua presente, maggiore è la velocità di propagazione dei segnali. Il logico risultato di tutte queste influenze che la propagazione subisce, è che la velocità dei segnali varia al variare dell'altezza e, in condizioni atmosferiche normali, la variazione si traduce in un aumento, piccolo ma uniforme, della velocità stessa con l'aumentare dell'altitudine. Le onde superiori a 1.000 MHz si propagano come illustrato alla **figura 2**.

Se teniamo presente quanto ora si è detto, non è difficile spiegare un fenomeno abbastanza comune agli effetti della propagazione: in certi casi, si manifestano nell'aria delle zone le cui caratteristiche sono particocolarmente vantaggiose per la propagazione delle microonde. Dette zone, la cui pressione, temperatura, grado di umidità, ecc. dipende sia dalla stagione, sia dalla conformazione del terreno, seguono nella loro forma la curvatura della superficie terrestre. Di conseguenza, ove esse siano presenti, è possibile sfruttarle per effettuare delle telecomunicazioni tramite microonde, a notevoli distanze. In tal caso, per il suo conseguente comportamento, un'onda del tipo di cui ci occupiamo riesce a raggiungere un'antenna ricevente anche se essa è installata al di là dell'orizzonte ottico.

L'onda riflessa ha importanza soltanto quando può essere ricevuta con un'intensità paragonabile a quella dell'onda diretta, o quasi. Nella maggior parte delle installazioni funzionanti con microonde, il segnale riflesso può essere trascurato — ripetiamo — perchè assente, o perchè eccessivamente debole. Per contro, allorchè esso ha un'intensità apprezzabile, logicamente può, sia rinforzare il segnale diretto (qualora sia con esso in fase) sia eliminarlo, qualora si trovi in opposizione di fase. In sostanza, nei confronti delle microonde, sia pure con caratteristiche leggermente diverse, può accadere, a volte, ciò che abbiamo già visto nei confronti delle V.H.F. e delle U.H.F.

Date le caratteristiche del tutto particolari e critiche, sia dal punto di vista elettrico che da quello meccanico, le comunicazioni su questa gamma non sono alla portata del pubblico. Tuttavia, l'importanza delle microonde aumenta del pari enormemente, dato lo sfruttamento delle loro caratteristiche, per l installazione di stazioni « relais », dette anche « ripetitori », poste in posizioni intermedie tra punti estremi a notevole distanza.

Prima di occuparci dei circuiti delle apparecchiature funzionanti su questa gamma di frequenze, è opportuno chiarire quali sono le caratteristiche dei componenti il cui impiego permette sia la produzione delle microonde, sia l'amplificazione, l'irradiazione, ed infine la ricezione.

Le GUIDE D'ONDA

Il termine **guida d'onda** deriva dalla particolare caratteristica di funzionamento di questo dispositivo. Diversamente da quanto accade con le correnti elettriche alternate aventi frequenza minore, nel campo delle microonde si può affermare che le onde stesse possono propagarsi tra due conduttori paralleli, *senza percorrerli*. In altre parole, si è constatato sperimentalmente che le microonde possono percorrere lo spazio delimitato da due conduttori paralleli, esattamente come una corrente d'acqua può scorrere tra due pareti che limitano verticalmente il letto di un canale. In tal caso, i due conduttori metallici non svolgono più il ruolo di veri e propri conduttori, bensì hanno il compito di *guidare* le onde lungo un percorso da essi stessi delimitato.

Sebbene qualsiasi sistema di trasmissione (come ad esempio le note « linee di trasmissione ») possa funzionare come guida d'onda, questo termine è riservato in pratica a quei tipi che consistono esclusivamente di un unico conduttore internamente cavo. Inoltre, sebbene una guida d'onda possa avere praticamente qualsiasi forma, i due tipi di uso più comune sono quelli che hanna una sezione rettangolare o circolare, come illustrato alla **figura 3**. Ovviamente, le caratteristiche che contraddistinguono una guida d'onda a sezione rettangolare sono l'altezza e la larghezza: esse sono sempre riferite alla superficie della sezione della guida stessa ed alle sue dimensioni *interne*, ossia senza tener conto dello spessore delle pareti. La caratteristica di una guida d'onda a sezione circolare è invece costituita dal solo diametro, che, anche in questo caso, è considerato esclusivamente all'interno del tubo.

Sebbene una guida d'onda a sezione rettangolare possa condurre l'energia in molti modi, un solo modo, e precisamente il più semplice, viene normalmente sfrut-

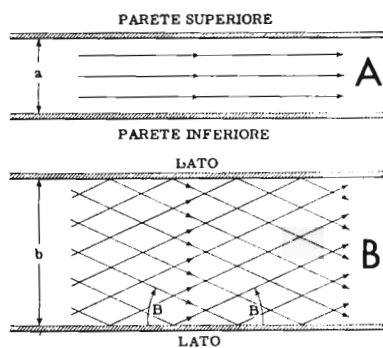



Fig. 4 - Propagazione in una guida d'onda: in A rispetto alle pareti superiore ed inferiore, ed in B rispetto ai due lati.

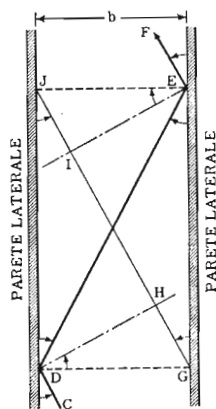



Fig. 5 - Rappresentazione grafica delle relazioni di fase tra i segnali riflessi, internamente ad una guida rettangolare.

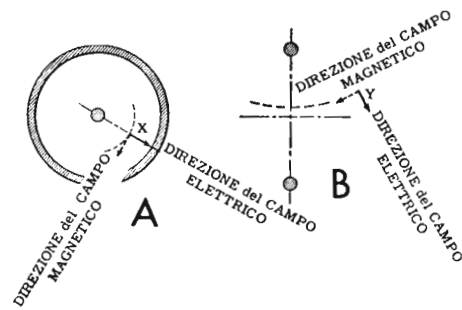



Fig. 6 - Distribuzione dei campi elettrico e magnetico in una linea di trasmissione coassiale (A), e in una linea bifilare (B). I due campi sono sempre perpendicolari tra loro.

tato. Ci riferiamo al caso nel quale le onde polarizzate verticalmente si spostano lungo una direzione parallela alla parete superiore ed a quella inferiore della guida. Qualunque sia l'orientamento di una guida d'onda, è consuetudine chiamare *altezza* la dimensione minore, e *larghezza* la dimensione maggiore: di conseguenza, le pareti maggiori della guida d'onda sono appunto chiamate **parete superiore** e parete **inferiore**, mentre le pareti più strette vengono normalmente chiamate **lati**.

La polarizzazione verticale riferita ad un'onda magnetica presente in una guida d'onda a sezione rettangolare, significa quindi che il campo elettrico è parallelo ai lati più corti della guida stessa. In linea di massima, è di uso generale indicare con le lettere minuscole a e b rispettivamente l'altezza e la larghezza.

La **figura 4** illustra in **A** le due pareti, superiore ed inferiore, di una guida d'onda a sezione rettangolare, vista di lato, ed in **B** la sezione della medesima guida, vista invece dall'alto. Le frecce contenute nelle due figure indicano il senso di propagazione delle onde, ed è facile notare che tale senso è perfettamente parallelo alle pareti superiore ed inferiore, mentre è incrociato nei confronti delle pareti laterali. I due archi di circonferenza terminanti con una freccia nella figura 4-B individuano rispettivamente due angoli eguali: è del pari facile notare che tale angolo si mantiene costante sia agli effetti dell'onda incidente (proveniente da sinistra) che agli effetti dell'onda riflessa (diretta verso destra). L'angolo è contrassegnato con la lettera *B*.

L'apertura di questo angolo non può essere scelta arbitrariamente: al contrario, essa dipende da b (ossia dalla larghezza della metà d'onda), e da λ, ossia dalla lunghezza d'onda del segnale. La relazione che intercorre tra queste due grandezze può essere espressa mediante la seguente formula:

$$sen\ B = \lambda : 2\,b$$

Da questa equazione risulta evidente il fatto che la propagazione è impossibile, a meno che tutti i segnali che si spostano in una determinata direzione si rinforzino l'un l'altro. L'equazione può essere dedotta facilmente considerando la **figura 5**. Supponiamo che un'onda passante attraverso il punto *C*, si muova verso sinistra. Essa viene riflessa dalla parete sinistra nel punto *D*, dalla parete destra nel punto *E*, e finalmente si muove in direzione *EF*, che è perfettamente parallela alla direzione originale *CD*. Un fronte d'onda è sempre perpendicolare alla direzione di propagazione, e, dal momento che *DH* è perpendicolare a *CD*, *DH* costituisce un fronte d'onda per i segnali diretti verso sinistra.

Come abbiamo visto in una lezione precedente (pagina 1130, figura 1), la fase di un segnale è sempre la medesima in tutti i punti di un fronte d'onda. Di conseguenza, un segnale che si muova verso sinistra attraverso il punto *H* è in fase col segnale incidente nel punto *D*. Se l'energia deve propagarsi in una guida di onda, il segnale riflesso nel punto *E* deve avere la medesima fase del segnale che si muove verso sinistra nel punto *I*, in quanto entrambi giacciono su un fronte perpendicolare ad *EF*. Diversamente, i segnali si annullerebbero l'un l'altro dopo aver percorso un breve tratto della guida d'onda. Dal momento che il campo elettrico dei segnali è parallelo alla parete riflettente, si ha ha una inversione di fase nel punto *D*, ed un'altra nel punto *E*.

A tutto ciò occorre aggiungere che, per avere la relazione di fase voluta, l'angolo *B* deve avere un valore tale che il percorso *DE* sia più lungo del percorso *HI* di un multiplo esatto (numero intero) di λ.

Il comportamento delle guide d'onda a sezione circolare è simile a quello delle guide d'onda a sezione rettangolare. Il percorso dell'onda, come avviene nella guida d'onda rettangolare, dipende dalle seguenti due condizioni, subordinate — a loro volta — al fatto che le pareti della guida siano costituite da un buon conduttore: sulla superficie di una parete non può esistere un campo elettrico parallelo alla parete stessa, e non può esistere un campo magnetico variabile perpendicolare a detta parete.

A causa della curvatura delle pareti di una guida d'onda a sezione circolare, è estremamente difficile esaminare il diagramma dei campi con la medesima precisione con cui esso può essere esaminato nei confronti di una guida d'onda rettangolare. Tuttavia, l'aspetto del diagramma di propagazione può essere dedotto dall'analogia con il diagramma corrispondente di una guida d'onda nella quale le dimensioni a e b siano eguali, ossia in una guida d'onda a sezione quadrata.

Nei confronti delle linee di trasmissione coassiali, i vantaggi offerti dalle guide d'onda consistono in un ammontare minore delle perdite, e nell'assenza totale del conduttore centrale. Il fenomeno che si verifica nei

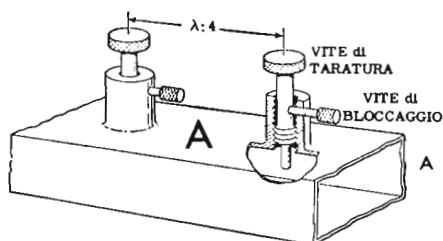



Fig. 7 - Dispositivo di accordo a vite di una guida d'onda, visto lateralmente (A) e di fronte (B). L'accordo viene effettuato variando la lunghezza del perno metallico che penetra all'interno della guida.

B

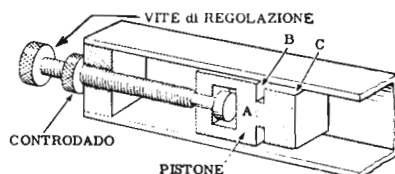
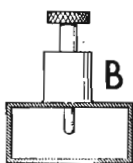



Fig. 8 - Dispositivo di taratura a pistone. Agendo sulla vita esterna, bloccabile (a taratura ultimata) col controdado, si varia la posizione del pistone e — di conseguenza — della parete di chiusura della guida. La fessura perimetrale, opportunamente dimensionata, evita gli inconvenienti dati da un contatto imperfetto tra il pistone e le pareti.

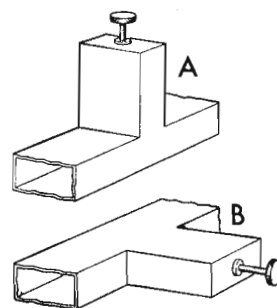



Fig. 9 - Applicazioni di un dispositivo di accordo a pistone; in A, giunzione di tipo « E », (pistone in serie), ed in B di tipo « H » (pistone in parallelo).

conduttori, (noto come effetto pellicolare, del quale ci siamo occupati a pagina 225), mentre in corrispondenza delle frequenze più basse ha un'importanza trascurabile, nei confronti delle frequenze più elevate fa sì che, in una linea coassiale ad esempio, per il passaggio del segnale risulti disponibile **soltanto** la superficie del conduttore interno: il risultato è una resistenza di conduzione inevitabilmente alta. Il conduttore esterno, avente una superficie maggiore (si rammenti che la superficie interna è l'unica che porti corrente) offre una resistenza notevolmente più bassa. Ne deriva che la maggior parte delle perdite si verifica nel conduttore interno alle linee coassiali, il quale conduttore non è presente nelle guide d'onda.

DISPOSITIVI di SINTONIA delle GUIDE D'ONDA

A tutta prima sembra improprio parlare di *impedenza di una guida d'onda*, in quanto in essa non esiste un punto in corrispondenza del quale è possibile misurare la tensione e la corrente. Ciò nonostante, il valore di impedenza di una guida d'onda esiste ed è utile e importante come quello di una linea di trasmissione.

Sappiamo che l'impedenza di una linea di trasmissione, in qualsiasi punto, equivale al rapporto tra la tensione e la corrente: naturalmente, è necessario — nell'effettuare il calcolo di questo rapporto — tener conto della relazione di fase tra le due grandezze. L'impedenza di una guida d'onda in qualsiasi punto è — analogamente — il rapporto tra l'intensità del campo trasversale elettrico e quella del campo trasversale magnetico in quello stesso punto; inoltre, come accade nei confronti nell'impedenza della linea di trasmissione, nel calcolare il rapporto, è necessario tenere in considerazione la relazione di fase tra i due campi.

La sezione **A** della **figura 6** illustra la distribuzione dei campi in una linea coassiale, e la sezione **B** illustra i medesimi fenomeni in una linea convenzionale del tipo bifilare. In entrambe, la linea di trasmissione agisce come una guida nei confronti delle onde che accompagnano qualsiasi trasmissione di energia. In ogni punto in cui l'onda guidata è presente, come nel punto « X » in A e « Y » in B, i campi elettrico e magnetico sono associati all'onda guidata. La componente trasversale del campo elettrico (il campo che giace su un piano perpendicolare ai conduttori) dipende dalla posizione del punto, e dalla tensione che sussiste fra due conduttori. Per ogni dato punto, *la forza del campo elettrico è proporzionale alla tensione*. Analogamente, il campo magnetico trasversale dipende dalla posizione del punto e dall'ammontare della corrente che scorre nei conduttori, e *l'intensità del campo magnetico è proporzionale alla corrente*. Sia il campo trasversale elettrico che il campo trasversale magnetico dipendono entrambi direttamente dalla posizione del punto, perciò il *loro rapporto* non dipende dalla posizione del punto stesso. Il rapporto tra i due campi trasversali dipende invece dal rapporto che esiste tra la tensione e la corrente. Da ciò deriva che l'impedenza di una linea di trasmissione può essere calcolata sia mediante il rapporto tra la tensione e la corrente, sia mediante il rapporto tra il campo trasversale elettrico e quello magnetico. Il secondo modo di definire l'impedenza può essere applicato direttamente alle guide d'onda.

In pratica, si può affermare che l'impedenza effettiva equivale all'impedenza caratteristica quando non è presente alcuna onda riflessa. In presenza di un'onda riflessa, l'impedenza differisce dal valore di impedenza caratteristica, ed è inoltre variabile da un punto ad un altro della guida. L'impedenza è sempre la medesima in tutti i punti di un piano perpendicolare all'asse della guida d'onda, esattamente come l'impedenza di una linea di trasmissione (calcolata in base ai campi elettrico e magnetico, e non in base alla tensione ed alla corrente) è la medesima qualunque sia il punto scelto in un dato piano, come riferimento per effettuare la misura dei campi.

Nei circuiti accordati funzionanti su frequenze minori, la frequenza di risonanza dipende dai valori di induttanza e di capacità in gioco; tali valori si risolvono a loro volta in un determinato valore di impedenza che, in corrispondenza della frequenza di risonanza, risulta massima nei circuiti risonanti in parallelo, e minima nei circuiti risonanti in serie. Nel caso delle guide d'onda non si può parlare nè di induttanza nè di capacità: le caratteristiche dimensionali di una guida d'onda o quelle di una **cavità risonante**, che prende il posto di un normale circuito accordato nel campo delle microonde, sono quelle che determinano la frequenza di funzionamento, o più precisamente la banda di frequenze, in quanto esiste una frequenza minima ed una frequenza massima entro le quali la guida d'onda può compor-

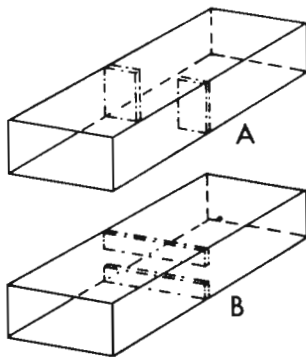



Fig. 10 - Dispositivi di taratura a « finestra », nei confronti del campo magnetico (A), e del campo elettrico (B).

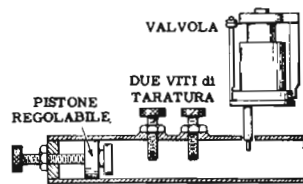



Fig. 11 - Accoppiamento tra la valvola finale di un trasmettitore ed una guida d'onda. L'elemento irradiante, che sporge dalla valvola stessa, penetra per una certa lunghezza nella guida. Questa, a sua volta, viene accordata dai dispositivi o pistone e a vite.

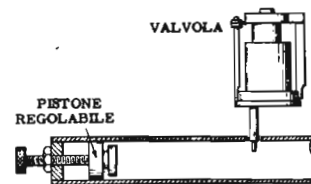



Fig. 12 - Accoppiamento tra una guida d'onda e la valvola di ingresso del ricevitore. E' analogo al precedente, ma, in questo caso, l'elemento della valvola capta il segnale invece di irradiarlo. La taratura può essere solo del tipo a pistone, o più complessa.

tarsi in modo pressochè uniforme. Tuttavia, per effettuare una messa a punto accurata su una determinata frequenza, esistono dei dispositivi di sintonia: essi agiscono in modo completamente diverso da quello in cui agiscono i dispositivi fino ad ora esaminati. La **figura 7** illustra un dispositivo di accordo *a vite*, mediante il quale è possibile variare leggermente le caratteristiche di una guida d'onda, al fine di accordarla su una determinata frequenza. In **A** è visibile la guida d'onda in parte sezionata, ed in **B** è visibile la veduta frontale. Ciascuna delle due viti, allorchè viene più o meno introdotta in seguito alla rotazione del bottone zigrinato esterno, fa in modo che un perno metallico penetri nella guida stessa in direzione parallela al campo elettrico, ed agisca come una piccola antenna. Essa viene eccitata dal campo elettrico che sussiste nella guida d'onda, e — di conseguenza — irradia un segnale. La fase del segnale riflesso può essere alterata variando la lunghezza del perno metallico mediante la rotazione della vite di taratura. Il dispositivo non ha alcun effetto allorchè la sua lunghezza è pari ad un quarto di λ; a partire da tale valore, essa può variare in entrambi i sensi, ossia fino a raggiungere la metà ed oltre della lunghezza d'onda e fino ad assumere valori inferiori a $\lambda : 4$. Il perno metallico diventa inoltre inefficiente quando viene retratto sino ad un certo punto, è cioè a livello della parete interna della guida d'onda: in tal caso, la sua lunghezza può variare in una sola direzione. Da tutto ciò deriva che il doppio dispositivo di sintonia a vite, del tipo illustrato, ha un campo di applicazioni limitato, e che spesso si ricorre all'impiego di un dispositivo triplo, con una distanza tra le viti di regolazione, e quindi tra i perni retrattili, pari a 3/8 di λ.

Un sistema di accordo a doppia vite può essere messo a punto iniziando con entrambi i perni completamente retratti, di modo che le punte si trovino a livello della parete interna della guida d'onda, ossia nella posizione in cui non esercitano alcuna influenza sul funzionamento. A questo punto, uno di essi viene inserito nell'interno della guida agendo sulla relativa vite. Se ciò peggiora la situazione, esso viene retratto, e si prova ad inserire l'altro. Da questo punto, il procedimento di sintonia prosegue, alternando la regolazione tra i due perni, esattamente come avviene allorchè si effettua l'accordo agendo alternativamente sui due compensatori di un trasformatore di M.F.

Un altro metodo di sintonia consiste nell'impiego di **regolatori a pistone**. Sebbene essi vengano impiegati qualche volta con profitto, i dispositivi di questo genere offrono ben pochi vantaggi nei confronti di quelli precedentemente descritti. La **figura 8** ne illustra un esemplare. Come si nota, esso consiste in un tratto di guida d'onda provvisto di un pistone mobile all'interno, la cui posizione può essere variata mediante una vite di regolazione. Il pistone è di materiale conduttore.

Per assicurare un perfetto contatto elettrico tra il pistone e le pareti interne della guida d'onda, ossia per assicurare un completo cortocircuito tra le quattro pareti della guida, esso è provvisto di una fessura perimetrale ad una certa distanza della faccia interna. Tale fessura, allorchè viene *vista* da *B*, si comporta come un breve settore di linea di trasmissione facente capo al cortocircuito che si presenta nel punto *A*. La profondità della fessura viene scelta in modo che questo tratto di linea abbia una lunghezza elettrica effettiva pari ad un quarto della lunghezza d'onda. L'impedenza nel punto *B* — di conseguenza — assume il valore di impedenza infinita di un tratto di linea pari ad un quarto d'onda, cortocircuitata, che si trova in serie con l'impedenza del contatto mobile tra il pistone e le pareti della guida d'onda, a sinistra di *B*.

Anche la distanza *BC* equivale ad un quarto della lunghezza d'onda, e l'impedenza dell'intervallo che sussiste tra il pistone e la parete nel punto **C** è quella di una sezione in quarto d'onda facente capo ad un valore di impedenza che sussiste nel punto *B*.

Dal momento che quest'ultimo valore è sempre grande (a causa dell'impedenza della fessura), l'impedenza nel punto *C* equivale pressochè a zero, indipendentemente dalla bontà di contatto tra pistone e pareti.

Il dispositivo può essere applicato ad una qualsiasi delle pareti della guida d'onda. Quando la giunzione si trova applicata alla parete perpendicolare al campo elettrico viene definita giunzione *E*, e il pistone viene detto *in serie*: l'impedenza di quest'ultimo è in serie rispetto a quella della linea principale. Allorchè invece la giunzione è applicata alla parete perpendicolare al campo magnetico, essa prende il nome di giunzione *H*, ed il pistone viene definito *in parallelo*: l'impedenza di quest'ultimo è in parallelo a quella della linea principale.

La sezione **A** della **figura 9** illustra il caso in cui il

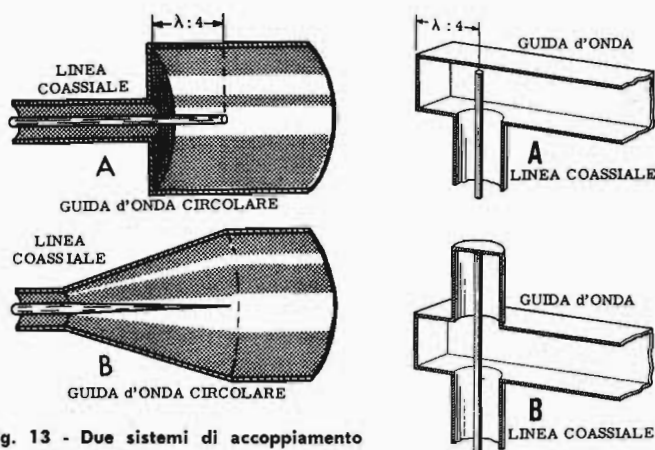



Fig. 13 - Due sistemi di accoppiamento tra una linea coassiale e due tipi di guide.

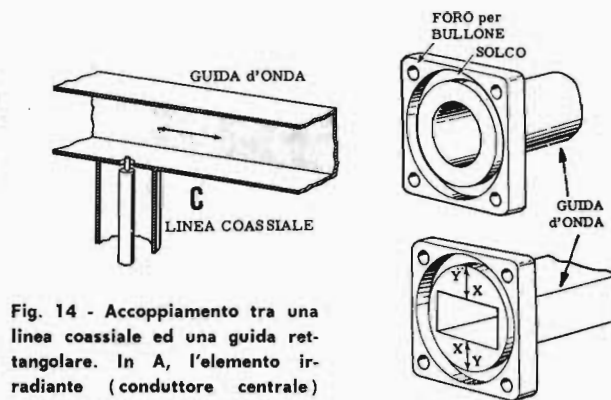



Fig. 14 - Accoppiamento tra una linea coassiale ed una guida rettangolare. In A, l'elemento irradiante (conduttore centrale) sporge in parte nella guida; in B l'attraversa, ed in C è a livello della parete interna.

Fig. 15 - Esempi di raccordi per guide circolari e rettangolari.

dispositivo è applicato con una giunzione di tipo *E*, e la sezione **B** illustra il caso della giunzione di tipo *H*. La prima è di uso più comune.

Un altro dispositivo di sintonia è quello detto **a finestra**. Due dispositivi di questo tipo sono illustrati alla **figura 10**. Dal momento che le due ostruzioni devono essere simmetriche, risulta piuttosto complessa la cotruzione, tuttavia, questo metodo è utile quando le due ostruzioni possono essere regolate a priori.

I dispositivi di sintonia a finestra consistono semplicemente, (vedi figure) di due piastrine di materiale conduttore poste all'interno della guida. Nel caso **A**, esse si trovano nei punti in cui il campo elettrico è relativamente debole, e l'effetto maggiore viene esercitato nei confronti del campo magnetico. Dal momento che il campo magnetico è paragonabile alla corrente rispetto all'impedenza di una guida d'onda, un dispositivo di questo tipo si comporta come un regolatore di corrente, ed è paragonabile ad una *induttanza in parallelo* (che non esercita alcuna influenza sulla tensione) nei riguardi di una linea di trasmissione convenzionale. Nel tipo illustrato in **B**, invece, l'influenza maggiore viene esercitata sul campo elettrico, il che significa che il dispositivo si comporta all'incirca come un *condensatore in parallelo* nei confronti di una linea di trasmissione convenzionale.

RACCORDI, GIUNTI e TERMINALI di GUIDE D'ONDA

Questi dispositivi sono di natura un po' complessa; compiremo comunque un'analisi succinta per chiarirne il principio di funzionamento e di realizzazione.

Accoppiamento tra trasmettitore e sistema di trasmissione a guida d'onda — Il segnale di uscita non è disponibile ai capi di una induttanza così come avviene per le frequenze inferiori, bensì ad un unico elettrodo delle speciali valvole. Il metodo più comune di accoppiamento tra uno stadio di uscita ed una guida d'onda è illustrato alla **figura 11**, ove si nota l'elettrodo irradiante che esce dalla valvola e penetra per una certa lunghezza in una guida d'onda del tipo accordabile con dispositivo a pistone. Le dimensioni della guida d'onda sono predeterminate affinchè essa possa risuonare su una frequenza prossima a quella del segnale. Sia la lunghezza dell'elemento irradiante che la posizione del pistone possono essere regolate per ottenere le caratteristiche più conformi alla frequenza.

La messa a punto viene effettuata in modo da ottenere una distribuzione razionale dei campi elettrico e magnetico, sì che l'energia prodotta possa propagarsi internamente alla guida in modo da percorrerla in tutta la sua lunghezza col minimo di perdite.

Accoppiamento tra guida d'onda e ricevitore — La **figura 12** illustra uno dei più semplici dispositivi di accoppiamento di tale caso. Il sistema è simile a quello ora descritto, e viene trovata anzitutto la posizione migliore del pistone; dopo, si effettua la messa a punto del sintonizzatore in modo che sia corretto l'adattamento di impedenza. La sonda dell'oscillatore locale, è, a volte, regolabile: tuttavia, è normalmente predisposta nella posizione più indicata. Il segnale dell'oscillatore locale viene iniettato in prossimità del sintonizzatore; entrambi i segnali entranti vengono variati nel medesimo modo in seguito alla regolazione del pistone.

Accoppiamento tra linea coassiale e guida d'onda — Si danno due casi: la guida d'onda, alla quale la linea coassiale deve essere accoppiata, può essere a sezione circolare o rettangolare. Nel primo caso, il dispositivo di accoppiamento è illustrato alla **figura 13**. In **A** lo adattamento viene effettuato facendo terminare il conduttore esterno della linea coassiale contro una parete piana che si chiude ad una estremità la guida d'onda: il conduttore centrale, invece, si estende per una certa lunghezza pari ad un quarto della lunghezza d'onda, internamente alla guida, in modo da costituire un elettrodo irradiante che provvede alla emissione del segnale. Nella sezione **B** della figura è illustrato un sistema di adattamento a cono: la linea coassiale termina con un allargamento a cono del conduttore esterno, il quale, ad una certa distanza assume il diametro della guida d'onda. Per tutta l'altezza del tronco di cono si estende, all'interno, il conduttore centrale che provvede all'emissione del segnale.

La **figura 14** illustra tre metodi per accoppiare una linea coassiale ed una guida d'onda a sezione rettangolare. Si tratta sempre di connettere direttamente il conduttore esterno della linea coassiale ad una parete della guida d'onda, e, contemporaneamente, di prolungare il conduttore interno della linea per un certo tratto internamente alla guida. Dalla sezione **A** della figu-

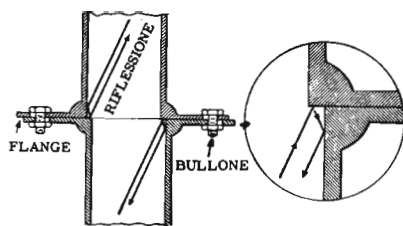



Fig. 16 - Se il giunto non è molto preciso, il gradino tra i due segmenti provoca delle riflessioni parassite che compromettono il funzionamento. A lato, il particolare del gradino riflettente è ingrandito per maggior chiarezza.

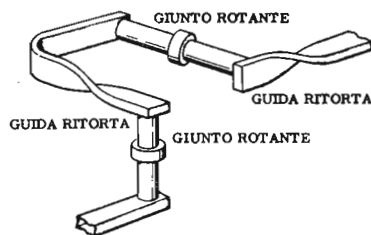



Fig. 17 - Vari tipi di giunti in una guida d'onda, necessari per variare l'orientamento dell'uscita in tutti i sensi possibili. Si notano due giunti rotanti, e due segmenti di guida d'onda ritorta.

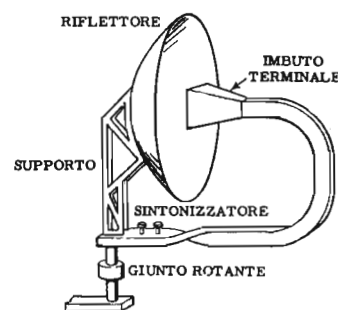



Fig. 18 - Sistema di accoppiamento tra una guida d'onda ed un riflettore parabolico orientabile. Le onde uscenti vengono poi riflesse in avanti.

ra è evidente che la posizione del conduttore centrale che si protende internamente alla guida rispetto alla parete di chiusura della guida stessa ha importanza fondamentale per l'adattamento. E' necessario che la distanza tra elettrodo irradiante e parete di chiusura corrisponda ad un sottomultiplo della lunghezza d'onda; in caso contrario, non si hanno fenomeni di riflessione tali che i segnali riflessi si rinforzino l'un l'altro trovandosi in fase. Le sezioni **B** e **C** illustrano altre due disposizioni.

Accoppiamento tra segmenti di guide d'onda — Può essere necessario dover prolungare una guida d'onda mediante l'aggiunta di segmenti di diversa lunghezza. Per ottenere una buona propagazione, senza compromettere le relazioni di fase tra i segnali riflessi, è necessario l'impiego di speciali giunti (**figura 15**). I due giunti affacciati devono essere costruiti con massima precisione, per evitare che tra la guida d'onda ed il segmento unito, si formi un gradino come da **figura 16**. In tal caso (vedi frecce rappresentanti il segnale in movimento) si otterrebbero riflessioni dannose costringenti il segnale irradiato a tornare verso la direzione di provenienza, invece che propagarsi lungo la guida.

Questi giunti sono normalmente provvisti, (vedi figure) di una flangia esterna con fori per il fissaggio a mezzo di buolloni. La distanza « X - Y » (figura 15), nei casi di campo elettrico molto intenso, viene stabilita in modo da corrispondere ad un quarto della lunghezza d'onda. I giunti — per motivi di adattamento di guida d'onda a complesso irradiante (antenna) — possono anche essere del tipo rotante; grazie alla mobilità di uno di essi rispetto al proprio asse, è possibile estendere il prolungamento della guida d'onda in varie direzioni a seconda delle necessità. L'adattamento delle due flange viene allora effettuato con la possibilità di ruotare una di esse onde trovare la posizione più indicata. Per le stesse ragioni, è necessario a volte torcere una guida d'onda su se stessa, affinchè le due pareti (nel caso della sezione rettangolare) invertano le loro reciproche posizioni. Il caso è illustrato alla **figura 17**, ove si nota che la guida d'onda in basso (accoppiata al segnale) è accoppiata a sua volta con un giunto rotante, indi con una guida d'onda ritorta, indi con un altro giunto rotante connesso a sua volta con un nuovo settore di guida d'onda ritorta che viene, in seguito, collegata al dispositivo di uscita.

Accoppiamento tra guida d'onda ed elemento irradiante — I sistemi per accoppiare con guida d'onda l'uscita di un trasmettitore ad un'antenna direttiva, hanno in comune il fatto di concentrare l'uscita della guida d'onda verso il punto dell'elemento riflettore affinchè quest'ultimo provveda poi ad irradiare l'energia sotto forma di un fascio direzionale. La **figura 18** illustra uno dei casi più comuni. Il segnale proveniente dal generatore, giunge al dispositivo di accoppiamento attraverso la guida d'onda a sezione rettangolare. Da questa, esso è accoppiato ad un giunto rotante, all'uscita del quale si trova un nuovo tratto di guida d'onda rettangolare del tipo ritorto. All'ingresso di tale tratto è installato il dispositivo di sintonia con regolatori a vite. Il segnale che si propaga attraverso quest'ultimo tratto di guida d'onda ricurva a « U », esce dalla guida stessa in un punto in cui è applicato un terminale ad imbuto, che si allarga verso l'esterno. Le caratteristiche dimensionali dell'imbuto, e la sua distanza dalla parabola che costituisce l'elemento riflettente, nonchè le dimensioni di quest'ultima, devono essere calcolate in modo da consentire il massimo rendimento. Il segnale uscente dalla guida d'onda urta contro un punto della parabola e viene riflesso sotto forma di un fascio d'onde altamente direzionale. E' così che tutta l'energia del trasmettitore viene concentrata, e si propaga lungo una linea retta per costituire l'onda diretta di cui si è detto all'inizio della lezione.

VALVOLE per MICROONDE

Come si è detto in altra occasione, le valvole adatte al funzionamento su frequenze superiori a 1.000 MHz, hanno caratteristiche del tutto particolari: abbiamo già fatto un cenno ai « klystron » ed ai « magnetron »: completiamo ora l'argomento con ulteriori dettagli.

Il klystron — Il « klystron » consta di quattro parti: una sorgente del fascio elettronico, un dispositivo che modula *la velocità* del fascio, un cilindro di raggruppamento, ed un anodo che assorbe energia dal fascio elettronico la cui velocità è modulata.

La sorgente consiste in un catodo reso incandescente dal filamento, in una griglia controllo, ed in una griglia acceleratrice. Il compito della griglia controllo, come sappiamo, è di regolare l'intensità della corrente anodica: tuttavia, ad essa non viene applicato, con-

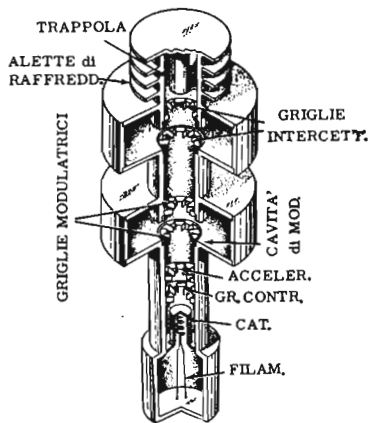



Fig. 19 - Un « klystron » visto in sezione.

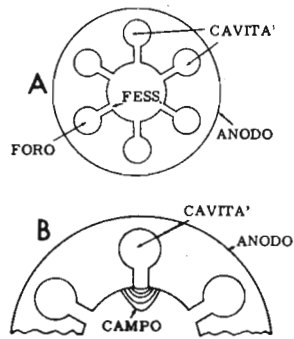



Fig. 20 - In A, aspetto dell'anodo di un « magnetron ». In B sono visibili le linee del campo presente all'ingresso di una cavità.

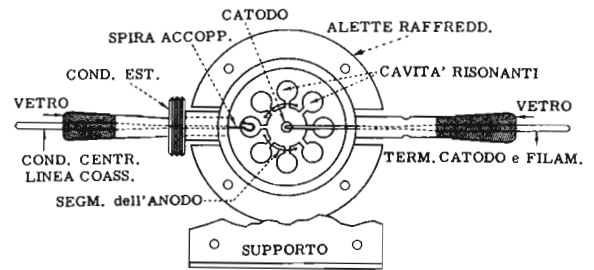



Fig. 21 - Disegno in sezione di un « magnetron ». Le espansioni polari di un magnete vengono applicate alle due superfici, di cui quella superiore visibile in pianta. Le linee di forza sono parallele all'asse dell'anodo.

trariamente al solito, un segnale che si sovrappone alla tensione di polarizzazione. La griglia acceleratrice, come dice il suo nome, accelera il movimento degli elettroni: di conseguenza, si può dire che la velocità *V* viene regolata variando la tensione di questa griglia.

Il cilindro di raggruppamento è un tubo in cui è praticato il vuoto; attraverso tale tubo passa il fascio elettronico. L'anodo è a sua volta una cavità provvista di due griglie come il dispositivo di modulazione della velocità. In pratica, i due dispositivi si assomigliano.

La **figura 19** illustra nei suoi dettagli un « klystron », provvisto di un elettrodo collettore sul quale gli elettroni si depositano dopo aver attraversato gli altri elettrodi. Il catodo è polarizzato con potenziale negativo, e la parte restante della valvola, ad eccezione della griglia controllo, si trova invece ad un potenziale pari a quello di massa. La seconda griglia intercettatrice viene usata spesso come collettore, mentre il primo dispositivo di modulazione della velocità serve come elettrodo acceleratore. Questa valvola può funzionare da amplificatrice, quando assorbe energia a bassi livelli in corrispondenza di un elettrodo, ed eroga energia maggiore in corrispondenza dell'anodo. Se poi una certa quantità di energia viene retrocessa, mediante un breve tratto di cavo coassiale, dall'uscita all'entrata del dispositivo di modulazione, la valvola può produrre oscillazioni.

Esiste un tipo di « klystron » a due cavità, detto « reflex », nel quale l'anodo viene polarizzato con tensione negativa, ed assume il ruolo di elettrodo repulsore.

Il magnetron — Il « magnetron » consiste essenzialmente in un anodo cilindrico, nel quale sono state ricavate una serie di cavità, ed in un magnete permanente. Compito di quest'ultimo è di controllare il percorso degli elettroni, in modo che essi siano costretti a spostarsi in orbite più o meno circolari.

La **figura 20** illustra una delle forme più comuni adottate per l'anodo di un « magnetron » e precisamente quella provvista di fori e di feritoie. In pratica, tutti gli anodi dei « magnetron » si assomigliano: il tipo illustrato è provvisto di 6 cavità, tuttavia, esistono altri tipi nei quali le cavità sono in numero maggiore. In questo tipo di valvola non esiste una griglia; la velocità del fascio elettronico viene modulata ad opera di un magnete permanente, il cui campo si manifesta tra le labbra della fessura che mette in comunicazione l'interno dell'anodo con ogni singola cavità.

Il catodo del « magnetron » viene installato lungo l'asse dell'anodo cilindrico: funziona normalmente a riscaldamento indiretto, ed è connesso direttamente ad uno dei terminali del filamento.

Per la maggior parte, i « magnetron » vengono usati nei circuiti ad impulsi, e l'emissione del catodo durante gli impulsi stessi si approssima ad una intensitità di 50 ampère: di conseguenza, si ricorre all'impiego di strati di ossido ad alto coefficiente di emissione. Durante il funzionamento, molti degli elettroni emessi finiscono col tornare al catodo, e l'energia che si sviluppa contribuisce al riscaldamento dello stesso, analogamente a quanto accade nei confronti dell'anodo di una valvola convenzionale, che si scalda per effetto della corrente anodica assorbita. A causa di ciò, la corrente del filamento viene regolata in modo che sia elevata durante il tempo in cui l'apparechiatura viene portata alla temperatura di funzionamento, mentre viene ridotta durante il funzionamento stesso. In alcuni tipi ad alta potenza, il filamento può essere addirittura spento durante l'uso, in quanto gli elettroni catturati dal catodo forniscono ad esso stesso energia sufficiente per mantenerlo alla temperatura necessaria.

Il funzionamento del « magnetron » si basa sul fatto che la direzione degli elettroni viene deviata allorchè essi si muovono rispetto ad un campo magnetico ad angolo retto. Ciò, praticamente, è quanto accade in un comune tubo a raggi catodici del tipo a deviazione elettromagnetica.

Si si eccettuano le cavità presenti nelle pareti dello anodo, il « magnetron » può essere considerato praticamente come un diodo di forma cilindrica, nel quale sussiste un campo magnetico parallelo all'asse. In assenza di tale campo magnetico, il « magnetron » si comporterebbe come un comune diodo; gli elettroni si sposterebbero radialmente dal catodo all'anodo, sviluppando una corrente anodica di valore proporzionale alla tensione anodica applicata. Occorre però tener presente che, a causa delle citate caratteristiche di emissione, il funzionamento di un « magnetron » senza che il magnete sia applicato nella giusta posizione può causare il deterioramente del dispositivo in seguito alla eccessiva corrente anodica che si svilupperebbe. La **figura 21** illustra schematicamente la struttura interna di un « magnetron », del cui funzionamento come oscillatore nella gamma S.H.F. ci occuperemo tra breve.

CIRCUITI RELATIVI alle MICROONDE

Abbiamo testè visto che, tra i componenti impiegati nei circuiti funzionanti su frequenze fino ad un massimo di 1.000 MHz, e quelli funzionanti su frequenze maggiori, esistono notevoli differenze. Sappiamo, ad esempio, che oltre i 1.000 MHz, una linea di trasmissione viene normalmente sostituita con una guida d'onda. Analogamente si può dire per quanto riguarda i circuiti accordati costituiti da induttanza e capacità: i normali componenti (*L* e *C*) necessari per ottenere la sintonia su di una determinata frequenza, vengono sostituiti — nel campo delle microonde — dalle «cavità risonanti», le quali, per le loro caratteristiche dimensionali, consentono l'accordo su di una frequenza piuttosto che su un'altra.

In considerazione di queste differenze, non sorprende il fatto che i circuiti funzionanti con frequenze appartenenti alla gamma delle microonde abbiano pochi punti in comune con quelli funzionanti invece su frequenze minori.

Praticamente, non esistono metodi soddisfacenti per amplificare adeguatamente i segnali aventi frequenze così elevate; di conseguenza, le oscillazioni presenti in uno stadio in cui sono prodotte o ricevute, devono essere applicate direttamente al carico che le utilizza.

Nel caso del trasmettitore, si ha quindi una valvola che oscilla direttamente sulla frequenza di trasmissione (senza cioè alcun processo di moltiplicazione di frequenza), e che, per giunta, deve essere in grado di fornire direttamente la potenza di segnale necessaria per raggiungere la portata voluta.

Nel caso del ricevitore, invece, si ha un normale circuito supereterodina: la sola differenza è che — logicamente — il valore della Media Frequenza risultante dalla conversione, è molto più elevato di quanto si è visto fino ad ora per la ricezione di frequenze minori.

Come accade nei confronti delle frequenze minori, ovviamente, anche queste oscillazioni vengono irradiate e ricevute a distanza. Ci occuperemo separatamente delle due citate funzioni, data la differenza di tecnica relativa.

OSCILLATORI per MICROONDE

Si hanno, per la produzione di oscillazioni su microonde, due soluzioni di massima. L'una o l'altra prevalgono in considerazione della potenza che si desidera ottenere.

In tutti i casi in cui, per frequenze minori, si usa un semplice oscillatore (con o senza stadio separatore), nel campo delle microonde si ricorre, all'uso del «klystron». In genere, la potenza massima ricavabile da un «klystron» è inferiore ad un watt; per questo motivo, tale tipo di valvola viene impiegato nei generatori di segnali campione, nelle apparecchiature di misura in genere, nei trasmettitori a bassa potenza, e come oscillatore locale nei ricevitori supereterodina adatti a tali frequenze.

In tutti quei casi in cui, con frequenze inferiori, si userebbe uno stadio oscillatore seguito da uno o più stadi amplificatori, per ottenere una potenza elevata, nel campo delle microonde si ricorre al «magnetron».

I normali trasmettitori, funzionanti nella gamma delle microonde, con uscita ad alta o media potenza, sono appunto basati sull'impiego dei «magnetron». Un trasmettitore completo consiste infatti in un «magnetron», in un sistema di trasmissione (generalmente del tipo a guida d'onda), in un'antenna, in un dispositivo di alimentazione, ed in un dispositivo di modulazione, mediante il quale si modula l'ampiezza o la frequenza del segnale così prodotto. Da ciò è facile dedurre che il «magnetron» sostituisce — in pratica — l'intero complesso costituito, nei trasmettitori funzionanti su frequenze inferiori, dallo stadio oscillatore propriamente detto, dallo stadio separatore, dal moltiplicatore di frequenza (ad uno o più stadi), dall'amplificatore di tensione, dallo stadio pilota, ed infine dallo stadio finale.

Entrambi i tipi di oscillatori sono analoghi — in ultima analisi — alle valvole termoioniche: la sola differenza consiste nel fatto che tali valvole sono — come abbiamo visto — del tipo a modulazione di *velocità*. Gli elementi interni, infatti, esercitano sulla corrente anodica un'influenza che consente di variare la velocità media degli elettroni che la costituiscono; per contro, in una valvola del tipo fino ad ora noto, non era la velocità, bensì la *quantità* degli elettroni che veniva variata in seguito all'azione esercitata dalla o dalle griglie. In altre parole, non si tratta in questo caso di variare l'itensità della corrente anodica variando opportunamente la tensione di polarizzazione di una griglia, bensì nello sfruttare l'influenza che i campi elettrici e magnetici esercitano sulla velocità di traslazione degli elettroni che formano la corrente anodica, nel loro passaggio da un elettrodo all'altro, internamente alla valvola.

Prima di addentrarci nello studio del funzionamento dei due tipi di valvole ora citati (il «klystron ed il

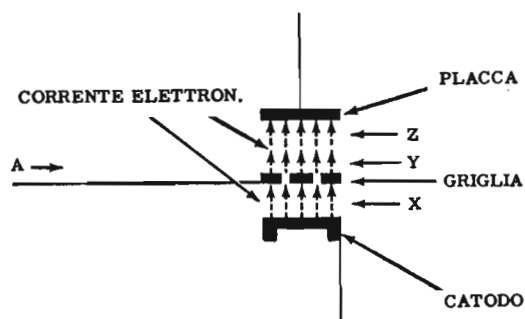



Fig. 1 - Se in un triodo la tensione tra placca e catodo è costante, e la polarizzazione di griglia è tale da impedire una corrente di griglia, l'intensità della corrente anodica è la medesima nelle tre sezioni, indicate rispettivamente con X, Y e Z.

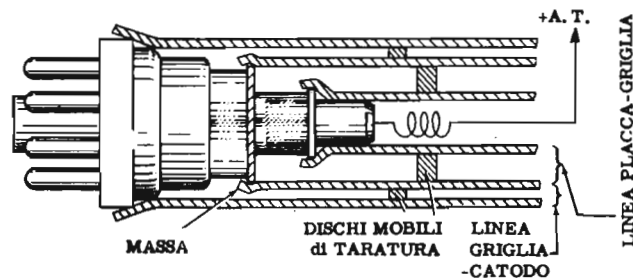



Fig. 2 - Impiego della valvola a « faro » come stadio oscillatore. I circuiti di griglia e di placca sono costituiti da linee coassiali rigide, calettate sulla stessa valvola. Si eliminano così le connessioni esterne. L'anodo è alimentato attraverso una bobina di arresto, opportunamente dimensionata.

«magnetron»), consigliamo al lettore di rivedere quanto detto a suo tempo a proposito della produzione di oscillazioni a frequenza minore: in altre parole, per meglio comprendere i motivi per i quali occorrono, nel campo delle microonde, dispositivi del tutto particolari, è bene conoscere perfettamente i circuiti necessari per la produzione di oscillazioni a frequenze inferiori, nonchè i relativi inconvenienti e le relative limitazioni, specie nei confronti della frequenza stessa.

Abbiamo visto a suo tempo quale enorme importanza abbia il tempo di transito, ossia il tempo impiegato dagli elettroni per trasferirsi dal catodo alla placca di una valvola, agli effetti dell'attitudine da parte della valvola stessa a funzionare su frequenze molto elevate. Riferendoci alla **figura 1**, supponiamo che la tensione presente tra la placca ed il catodo sia costante, come pure quella presente tra la griglia ed il catodo. Supponiamo inoltre che il potenziale negativo di griglia sia tale da impedire qualsiasi passaggio di corrente nel circuito della stessa griglia. In tali condizioni, la corrente di placca raggiunge un valore costante pochi istanti dopo l'applicazione delle due tensioni (di placca e di griglia), e, una volta raggiunto tale valore, il numero degli elettroni che si approssima alla griglia è eguale al numero di elettroni che da essa si allontana.

Supponiamo ora che, ad un tratto, la griglia diventi più positiva (ma non tanto da determinare una corrente di griglia), immediatamente dopo che la corrente anodica abbia raggiunto il suo valore costante. L'intensità della corrente anodica aumenta quasi immediatamente, ossia, nelle regioni indicate con « X » e « Y » nella figura 1, si avrà una quantità maggiore di elettroni in movimento. Ciò nonostante, occorrerà un certo tempo prima che aumenti corrispondentemente l'intensità di corrente nella zona contrassegnata «Z». Questo ritardo è dovuto al fatto che la griglia può, per effetto del suo potenziale rispetto al catodo, provocare l'aumento della corrente circolante solo nelle sue immediate vicinanze. Da ciò si deduce che la corrente che scorre nella zona contrassegnata con «Z» non può aumentare fino allo arrivo, in tale zona, degli elettroni che si staccano dalla griglia, allorchè la tensione di quest'ultimo elettrodo viene variata.

Non appena si è stabilito il nuovo valore della corrente anodica, il numero degli elettroni che si approssimano alla griglia è di nuovo eguale al numero di elettroni che da essa si allontanano. Per contro, poco prima che la nuova corrente anodica si stabilisca, mentre il valore nella zona «Z» è ancora quello originale, nelle zone « X » ed « Y » è invece diverso, per effetto della tensione diversa presente tra griglia e catodo. E' facile dedurre che, se le variazioni della tensione di griglia sono alquanto rapide rispetto al tempo che gli elettroni impiegano per attraversare le zone « X », « Y » e « Z », la corrente anodica non può seguire fedelmente, nelle sue variazioni, quelle della tensione di griglia. In tal caso, è evidente che un segnale applicato alla griglia non può essere riprodotto fedelmente nel circuito di placca, per cui la valvola non risulta adatta al funzionamento su quella determinata frequenza.

Indipendentemente dagli inconvenienti dovuti alla capacità interelettrodica, ed alla relativa necessità di neutralizzazione, questo è uno dei motivi principali per il quale, nel funzionamento con le microonde, si ricorre all'impiego del « klystron » o del « magnetron ». In questi tipi di valvole, (come vedremo meglio tra breve), il tempo di transito perde praticamente la sua importanza. Infatti, ripetiamo, non è l'intensità della corrente che viene variata in funzione delle caratteristiche di ampiezza del segnale, bensì la velocità di spostamento degli elettroni in funzione della frequenza del segnale stesso.

Oscillatore con valvola a faro

Abbiamo già avuto occasione di conoscere, alla lezione 146ª, un tipo di valvola adatta al funzionamento con frequenze superiori a 1.000 MHz: si tratta della valvola cosiddetta a « faro », a causa della sua forma esterna caratteristica, illustrata a pagina 1176 (figura 20). In questo tipo di valvola, data la particolare disposizione e le dimensioni degli elettrodi, nonchè l'elevata tensione anodica, la capacità interelettrodica ed il tempo di transito assumono valori che consentono il funzionamento in una parte della gamma di frequenze di cui ci occupiamo. Vediamo ora alcuni tipi di oscillatori basati sull'impiego di questa valvola, e, successivamente, gli oscillatori impieganti valvole speciali adatte al funzionamento con le sole microonde.

La valvola a faro viene impiegata — generalmente — in un circuito con griglia a massa. L'impedenza tra

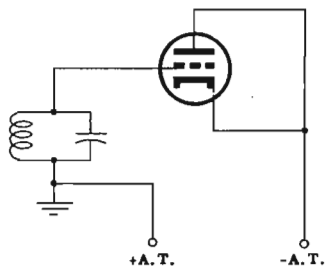



Fig. 3 - Nell'oscillatore « Barkhausen », il catodo e la placca hanno il medesimo potenziale negativo, e la griglia è positiva. Questa — tuttavia — lascia passare alcuni elettroni, i quali oscillano intorno ad essa prima di esserne attratti.

ANODO
PERCORSO degli ELETTRONI OSCILLANTI
CONDUTTORI della GRIGLIA
CATODO

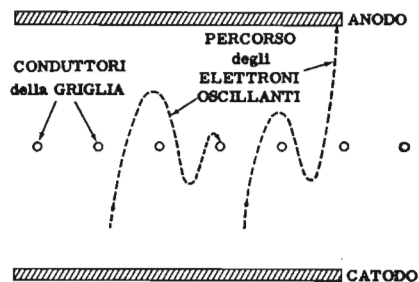



Fig. 4 - Durante il funzionamento, gli elettroni non assorbiti oltrepassano la griglia per inerzia, dopo di che ne vengono ancora attratti, la altrepassano ancora per il medesimo motivo, per poi esserne assorbiti. Essi costituiscono pertanto una nuvola di elettroni che oscillano intorno alla griglia stessa.

la griglia e l'anodo è a caratteristica induttiva, mentre quella che sussiste tra catodo e griglia è a caratteristica capacitiva (regolabile). La capacità presente tra catodo e placca costituisce essa stessa la terza reattanza necessaria per il circuito di reazione, mediante il quale si producono le oscillazioni.

Gli elementi necessari a stabilire la frequenza di funzionamento sono generalmente linee coassiali rigide (vedi **figura 2**). Il conduttore esterno e quello mediano costituiscono la linea griglia-catodo, mentre il conduttore mediano e quello interno costituiscono la linea placca-griglia. Entrambe tali linee, come abbiamo visto a pagina 1176, sono sintonizzabili mediante lo spostamento di dischi di cortocircuito.

Il segnale di uscita viene prelevato tramite una spira di accoppiamento o mediante una sonda (non illustrati), che si estende nello spazio compreso tra i due conduttori concentrici di placca e di griglia.

Questo dispositivo viene usato frequentemente per la produzione di oscillazioni nella gamma più bassa delle microonde, oppure come stadio amplificatore nei ricevitori funzionanti su tali frequenze.

Oscillatore « Barkhausen »

Questo tipo di oscillatore, il cui nome deriva da quello dell'inventore, funziona anch'esso con valvole analoghe a quelle convenzionali, ben note al lettore. Esso non è di impiego comune, ma viene tuttavia citato grazie alla sua analogia, come vedremo, col tipo di circuito basato sull'impiego del « klystron ».

Consideriamo un triodo convenzionale, polarizzato in modo che la placca ed il catodo abbiano il medesimo potenziale, mentre la griglia ha, rispetto a questi ultimi, un potenziale positivo, (vedi **figura 3**). Gli elettroni emessi dal catodo verranno attratti, ovviamente, dalla griglia positiva. Questa, tuttavia, è costituita da spire molto sottili, aventi tra loro una distanza relativamente notevole, per cui buona parte degli elettroni riesce a passare negli spazi liberi. Dopo aver oltrepassato la griglia, gli elettroni continuano ad esserne attratti, grazie al suo potenziale più positivo di quello dell'anodo, per cui essi invertono la loro direzione, e tornano a dirigersi verso la griglia stessa.

E' quindi intuitivo che, intorno a questo elettrodo, viene a formarsi una nuvola di elettroni, i quali oscillano passando ripetutamente attraverso il piano da esso individuato, come illustrato alla **figura 4**. Non appena detti elettroni vengono — per così dire — catturati dalla griglia, altri elettroni, provenienti dal catodo, prendono il loro posto.

Come sappiamo, gli elettroni che si approssimano alla griglia costituiscono una corrente verso tale elettrodo, mentre quelli che se ne allontanano costituiscono una corrente che può essere considerata come da esso proveniente. Si ha perciò la presenza di correnti oscillanti con tutte le fasi possibili, a livello della griglia. La frequenza di tali oscillazioni, che equivale al doppio di quella con la quale oscillano gli elettroni, viene determinata dalla tensione applicata agli elettrodi, e dalla distanza che tra essi intercorre. La frequenza è doppia di quella delle oscillazioni degli elettroni, in quanto la direzione della corrente si inverte ben quattro volte durante ogni ciclo di oscillazione di ciascun elettrone, e precisamente una volta in corrispondenza dei termini dello spostamento, e due volte in corrispondenza del punto intermedio, ossia quando gli elettroni passano attraverso la struttura della griglia.

Supponiamo ora che una tensione a corrente alternata, avente la medesima frequenza della corrente oscillatoria, venga sovrapposta al potenziale positivo a corrente continua che polarizza la griglia.

Quegli elettroni che si approssimano alla griglia durante il semiperiodo positivo della tensione alternata applicata, e che da essa si allontanano durante il periodo negativo, creano delle correnti resistive che *assorbono* energia dal generatore che alimenta la griglia stessa. In altre parole, la corrente associata al movimento di detti elettroni scorre verso la griglia durante i semiperiodi positivi della tensione di polarizzazione, e si allontana da essa durante i semiperiodi negativi.

D'altro canto, gli elettroni che oscillano con uno sfasamento di 180° rispetto ai primi, forniscono energia alla griglia, in quanto le correnti relative si allontanano da essa durante i semiperiodi negativi. Tali elettroni — di conseguenza — *forniscono* invece energia al generatore che alimenta la griglia.

Consideriamo innanzitutto cosa accade ad uno degli elettroni che forniscono energia alla griglia. Durante un semiperiodo positivo della tensione di polarizzazione, esso si allontana dalla griglia; viceversa, durante il semiperiodo negativo (successivo), si dirige verso questa

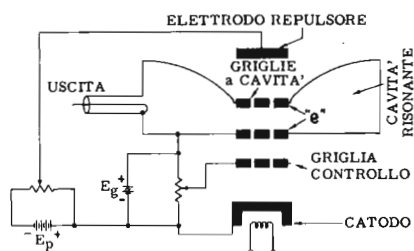



Fig. 5 - Rappresentazione schematica di un « klystron reflex ». Si hanno due griglie a cavità, e la placca, polarizzata con tensione negativa, respinge gli elettroni.

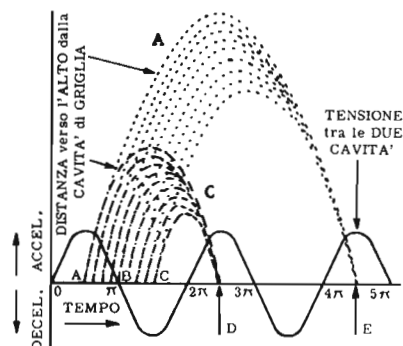



Fig. 6 - Movimento degli elettroni in un « klystron reflex »; la tensione alternata presente tra le griglie provoca successive accelerazioni degli elettroni (modulazione di velocità). D ed E sono i punti di arrivo.

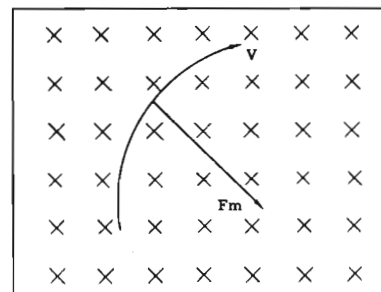



Fig. 7 - La forza magnetica (Fm) esercitata su di un elettrone è perpendicolare sia alla direzione del campo, che alla variazione di moto dell'elettrone stesso (V).

ultima. Di conseguenza, esso viene fortemente attratto quando si allontana dalla griglia, e debolmente quando si avvicina ad essa. La forte attrazione che esso subisce mentre se ne allontana, gli impedisce di sfuggire dalla zona che circonda la griglia stessa, e, d'altra parte, la debole attrazione che subisce successivamente, impedisce che esso venga catturato immediatamente. Per questo, l'elettrone continua ad oscillare per un tempo relativamente lungo.

Nei confronti degli elettroni che assorbono energia dal generatore che alimenta la griglia, accade esattamente il contrario. Essi vengono catturati immediatamente dalla griglia, e viceversa, possono allontanarsi dallo spazio che la circonda nel semiperiodo successivo. Da tutto ciò è facile dedurre che gli elettroni che forniscono energia alla griglia continuano ad oscillare per un tempo più lungo che non gli altri.

Nel circuito illustrato alla figura 3, qualsiasi momentanea discordanza tra le correnti oscillatorie della griglia determina la presenza di oscillazioni nel circuito risonante *LC*. Questo — a sua volta — fornisce una tensione alternata alla griglia, che provoca la fuoruscita di alcuni elettroni dallo spazio circostante ad essa, come ora detto. Di conseguenza, la nuvola di elettroni oscillanti che la circonda continua a fornire impulsi di energia al circuito risonante esterno, mantenendo così le oscillazioni: tali oscillazioni, che come abbiamo visto sono indipendenti dal tempo di transito e dalla capacità interelettrodica, possono avere una frequenza superiore a 1.000 MHz, ossia possono appartenere alla gamma delle microonde.

Il « KLYSTRON » COME OSCILLATORE

La valvola denominata « klystron », descritta alla lezione precedente, nella quale è presente una cavità risonante che funziona da circuito accordato, e con la quale è possibile generare segnali la cui frequenza è compresa nella gamma delle microonde, viene anche definita col nome di « klystron reflex », quando in essa sono presenti due diverse cavità per la modulazione di velocità della corrente anodica. In tal caso, l'effetto « reflex » si manifesta a causa della reciproca influenza della cavità risonante, e delle griglie modulatrici di velocità, nei confronti della corrente di elettroni.

Nei confronti della **figura 5**, che illustra schematicamente un circuito oscillatore a « klystron », è opportuno fare alcune importanti considerazioni: nella maggior parte degli oscillatori, le oscillazioni sono provocate da una certa irregolarità nel passaggio della corrente, come ad esempio il transitorio che deriva dall'improvvisa applicazione della tensione anodica alla valvola, o dall'aumento graduale della corrente anodica, mano a mano che il catodo raggiunge la temperatura di funzionamento. Tenendo presente questo particolare, supponiamo che le oscillazioni siano già presenti nelle cavità risonanti di un « klystron »: in tal caso, è evidente che occorre la dissipazione di una certa quantità di energia affinchè tali oscillazioni continuino a sussistere.

Durante le oscillazioni, tra le due griglie a cavità si manifesta una certa tensione ad Alta Frequenza, *e*. In seguito a ciò, il campo elettrico che sussiste tra dette griglie si inverte di polarità due volte durante ogni ciclo completo.

Nel momento in cui gli elettroni si approssimano alle griglie, la corrente che essi costituiscono è uniforme. Il tempo da essi impiegato per percorrere la piccola distanza interposta tra le griglie è breve nei confronti della durata di una oscillazione. Gli elettroni che entrano in tale spazio nell'istante in cui *e* è zero, non incontrano alcun campo elettrico alternato, per cui passano tutti con la medesima velocità. Quelli invece che entrano nello spazio interposto negli istanti in cui la tensione ad Alta Frequenza *e* rende la griglia inferiore *positiva* rispetto a quella superiore, incontrano un campo elettrico che tende ad imprimere loro una certa accelerazione. L'ammontare di tale accelerazione dipende dall'ampiezza della tensione *e*. Per contro, gli elettroni che entrano nello spazio durante il semiperiodo successivo, quando cioè la tensione *e* rende la griglia inferiore *negativa* rispetto a quella superiore, subiscono invece una decelerazione.

Le variazioni di velocità dovute alle successive accelerazioni e decelerazioni sono di piccola entità nei confronti della velocità originale. Gli elettroni che subiscono la maggiore accelerazione si muovono più rapidamente verso la placca (elettrodo repulsore), prima di essere respinti verso la direzione di provenienza, mentre quelli che subiscono la maggiore decelerazione tornano indietro prima di avvicinarsi di molto all'elettrodo repulsore. Ne deriva che gli elettroni che torna-

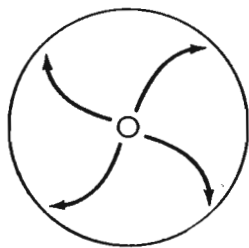



Fig. 8-A - Con una data polarità del campo (perpendicolare alla pagina), la deflessione ha luogo in una direzione corrispondente: nel caso illustrato, in senso orario.

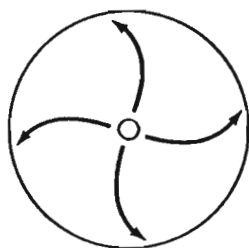



Fig. 8-B - Invertendo la polarità del campo magnetico applicato, si inverte anche la deflessione degli elettroni, che, in questo caso, si manifesta in senso antiorario.

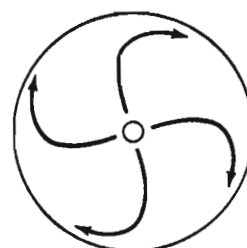



Fig. 8-C - Aumentando l'intensità del campo magnetico, o diminuendo la tensione tra placca e catodo, aumenta proporzionalmente l'ammontare della deviazione degli elettroni.

no alle griglie cave arrivano — per così dire — a salti.

La **figura 6** illustra la posizione degli elettroni nella valvola, corrispondente a vari istanti del tempo di transito. La posizione corrispondente alla tensione *e* pari a zero, è a meta strada tra le due griglie. L'elettrone *A*, che arriva quando *e* è positiva, viene accelerato, e si dirige rapidamente verso l'elettrodo repulsore prima di tornare indietro. L'elettrone *B* non viene disturbato, e l'elettrone *C* — invece — subisce una decelerazione, per cui torna indietro dopo un breve percorso verso l'alto.

Nella figura, tali elettroni — e quelli che passano negli istanti intermedi — vengono rappresentati in moda da arrivare alle griglie nel medesimo istante. Ciò costituisce la condizione ideale. Dal momento che essi vengono emessi con una corrente costante, non è difficile comprendere che la corrente di ritorno alle griglie varia in velocità alla frequenza delle oscillazioni. E' proprio per questo motivo che il funzionamento di questo tipo di valvola viene definito « a modulazione di velocità ». L'attributo « reflex » deriva invece dal fatto che gli elettroni invertono la loro direzione, e percorrono due volte lo spazio interposto tra gli elettrodi.

Durante il ritorno degli elettroni, il campo elettrico determinato dalla tensione *e* esercita di nuovo la sua influenza su di essi: poichè il movimento è in direzione opposta a quella precedente, la velocità diminuisce quando *e* è positiva, ed aumenta quando questa tensione è invece negativa.

Sappiamo già che un elettrone accelerato da un campo elettrico subisce un aumento della sua energia cinetica, e che questo aumento di energia viene prelevato dal campo stesso. D'altro canto, se viene decelerato, esso cede una certa quantità di energia al campo elettrico; per il massimo trasferimento di energia, l'istante di arrivo deve corrispondere esattamente a quello in cui *e* ha il massimo valore positivo.

A questo punto è istintivo chiedersi da dove provenga questa energia: abbiamo ora visto che, se la corrente elettronica proveniente dal catodo è uniforme, alcuni elettroni vengono accelerati, ed altri decelerati. In media, il numero degli elettroni che assorbono energia dal campo, e quello degli elettroni che invece ne cedono, si equivale. Ne deriva che l'ammontare netto di energia tolta dal circuito oscillante è minimo. L'energia cinetica media di un elettrone è quella ad esso fornita dalla tensione a corrente continua (anodica). Di conseguenza, l'energia viene prelevata dalla sorgente di tale tensione, e ceduta al campo elettrico alternato ad Alta Frequenza. Questo è il motivo per cui le oscillazioni si protraggono nel tempo.

Il « MAGNETRON »

La teoria di funzionamento di un « magnetron » è basata sul movimento degli elettroni in presenza di campi magnetici e di campi elettrici. Una delle principali caratteristiche che lo distinguono dal « klystron », e che abbiamo messo in evidenza, risiede nel fatto che esso viene impiegato esclusivamente per la produzione di oscillazioni a microonde (S.H.F.) a media ed alta potenza, e mai come stadio amplificatore.

Come sappiamo, la legge che governa il movimento degli elettroni in un campo elettrico stabilisce che la forza esercitata su di essi da quest'ultimo è proporzionale all'intensità del campo stesso, e che la direzione della forza esercitata è opposta a quella di detto campo. In altre parole, gli elettroni tendono a muoversi dalle zone a basso potenziale verso quelle ad alto potenziale.

La legge che governa invece il movimento degli elettroni in un campo magnetico stabilisce che la forza su di essi esercitata è ad angolo retto sia rispetto al campo stesso che rispetto alla loro direzione di moto. La direzione della forza è tale che l'elettrone risulta muoversi in senso orario se lo si osserva in direzione del campo magnetico, come illustrato alla **figura 7**: in questa rappresentazione grafica, si suppone che detto campo magnetico sia diretto verso il piano della pagina. Si noti che se un elettrone si trovasse in posizione statica (fermo) in un campo magnetico, non verrebbe da questo influenzato.

La **figura 8** illustra gli effetti di un lieve campo magnetico applicato durante il funzionamento. Si noti che il percorso degli elettroni viene curvato sempre in una medesima direzione (dipendente dalla polarità del campo, il quale è perpendicolare al piano della pagina). Se la polarità viene invertita, la deflessione del corso degli elettroni muta direzione, come si nota confrontando le sezioni **A** e **B** della figura. Se si applica un campo magnetico più intenso, o una tensione inferiore tra catodo e anodo, si ottiene una maggiore curvatura del percorso

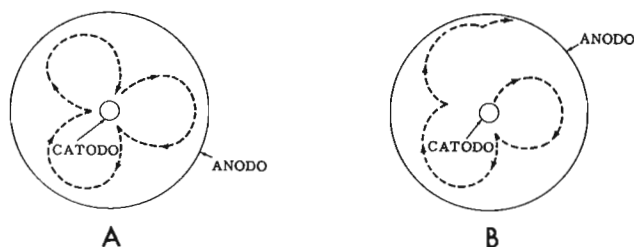



Fig. 9 - In A, percorso teorico degli elettroni, corrispondente a determinate relazioni tra intensità di campo e tensioni applicate tra placca e catodo. In B, alterazione che si verifica in pratica, per la reciproca repulsione degli elettroni, ed a causa della presenza degli effetti delle cavità dell'anodo.

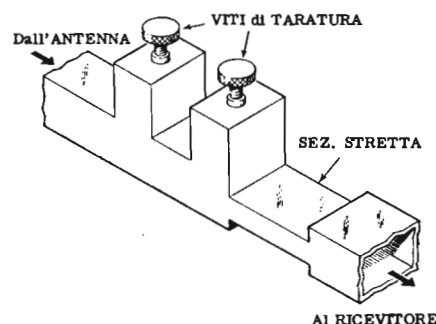
Fig. 10 - Per la preselezione del segnale di ingresso, oltre ai dispositivi di accordo a vite, si ha, in serie alla guida d'onda, un tratto a sezione inferiore, che oppone maggiore impedenza alle frequenze da scartare

degli elettroni, come illustrato nella sezione **C** della figura. Se esistono relazioni esatte tra le intensità del campo magnetico e la tensione applicata tra il catodo e l'anodo, il percorso degli elettroni assume una forma analoga a quella illustrata alla **figura 9-A**. In realtà, l'espressione grafica è esclusivamente teorica, in quanto non tiene conto di tutte le interazioni tra gli elettroni, nonchè dell'effetto dovuto alla presenza delle cavità. In pratica, le collisioni tra gli elettroni stessi turbano l'andamento regolare dei loro percorsi, i quali vanno dal catodo all'anodo, e da questo ritornano al catodo. Accade sempre che una parte di essi riesca a raggiungere l'anodo come indicato nella sezione **B** della figura.

Sebbene sia possibile ottenere diversi percorsi della corrente anodica con qualsiasi tensione anodica (se si usa un adeguato campo magnetico) o con qualsiasi campo magnetico (se si usa una adeguata tensione anodica), la possibilità che si manifestino delle oscillazioni (ossia un trasferimento di energia dagli elettroni alle cavità) dipende dalle relazioni che intercorrono tra la velocità degli elettroni, che è funzione della tensione anodica, la distanza tra le cavità, e la frequenza di risonanza di queste ultime. Di conseguenza, il « magnetron » oscilla soltanto in corrispondenza di una gamma relativamente ristretta di intensità del campo magnetico, e di ampiezza della tensione anodica.

IMPIANTI di IRRADIAZIONE S.H.F.

Come si è detto, il « klystron », il quale può essere usato sia come oscillatore che come amplificatore, viene impiegato per la produzione di oscillazioni di frequenza superiore a 1.000 MHz; ove necessario, tali oscillazioni possono essere successivamente amplificate mediante l'aggiunta di altri stadi (sempre del medesimo tipo, ma esenti da dispositivi di reazione). Tale impiego tuttavia, date le basse potenze ottenibili, è limitato ad apparecchiature sperimentali, ai generatori di segnali, ed agli strumenti di misura. Ove invece occorra una notevole potenza, si ricorre all'impiego del « magnetron », il quale — ripetiamo — può funzionare solo come oscillatore.

L'utilizzazione delle oscillazioni prodotte dal « magnetron », come pure quelle provenienti da un « klystron », viene attuata eccitando una guida d'onda o una linea coassiale, così come indicato alla figura 11 della lezione precedente. Ovviamente, la guida d'onda deve essere dimensionata in modo tale da risuonare perfettamente sulla frequenza dei segnale.

Per quanto riguarda l'irradiazione, abbiamo visto che, all'estremità della guida d'onda, è connessa una bocca di uscita, generalmente a forma di tronco di piramide (per guide d'onda rettangolari), o di tronco di cono (per guide d'onda circolari), la quale invia le microonde al centro di un riflettore parabolico, anch'esso opportunamente dimensionato, che — a sua volta — provvede all'irradiazione. A volte, per determinate gamme di frequenza, al centro dell'elemento riflettente (parabola), viene installato un piccolo dipolo, che viene eccitato direttamente dalle onde provenienti dalla guida. Questo, indirettamente, eccita la parabola, che riflette verso lo spazio antistante il fascio d'onde direzionale, così come accade per le U.H.F.

Le antenne usate in S.H.F. sono sempre del tipo a parabola, in quanto, data la caratteristica di propagazione di tali frequenze, è necessaria — ripetiamo — la concentrazione in un fascio sottile, tale cioè da consentire la propagazione in un'unica direzione col massimo dell'energia disponibile. Vediamo ora come le microonde possano essere ricevute.

RICEVITORI per S.H.F.

E' stato messo in rilievo, all'inizio della lezione precedente, che uno dei principali vantaggi delle microonde nei confronti delle frequenze inferiori è costituito dalla notevole ampiezza di banda utilizzabile che è possibile ottenere con difficoltà relativamente ridotte. Nelle apparecchiature di telecomunicazioni funzionanti nelle gamme delle S.H.F., l'aumento dell'ampiezza di banda disponibile consente un aumento del numero di canali (emittenti) che può essere compreso in una data gamma di frequenze. I ricevitori funzionanti su tali gamme sono simili ai ricevitori « radar », che vedremo tra breve. Essi sono sostanzialmente abbastanza semplici, ma in compenso sono piuttosto complesse le apparecchiature ad essi associate. Ciò deriva dal fatto che i dispositivi di accordo, per la separazione dei canali, non sono di così facile realizzazione così come lo sono per le frequenze inferiori.

In linea di massima, i ricevitori sono del tipo a supe-

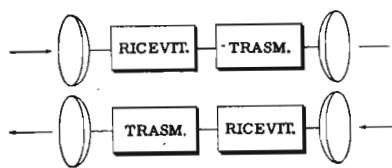



Fig. 11-A - Nelle stazioni intermedie a due vie, si usano a volte quattro antenne. Ciascuna coppia riceve in una direzione, ed irradia in un'altra.

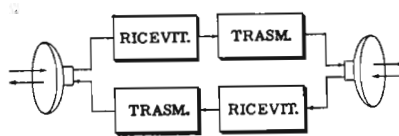



Fig. 11-B - A volte — invece — si preferisce adottare due sole antenne, ciascuna delle quali riceve su una frequenza e trasmette su un'altra. contemporaneamente.

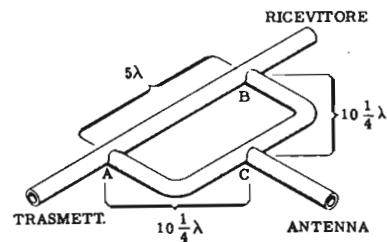



Fig. 12 - Esempio di connessione ibrida. In pratica, si tratta di distribuire le lunghezze dei conduttori in modo da consentire il passaggio di ogni segnale in una sola direzione.

reterodina, ed è sempre preferibile applicare un dispositivo di pre-selezione che preceda lo stadio convertitore; ciò in quanto può verificarsi un'interferenza a causa della presenza, a breve distanza, di un trasmettitore funzionante su una lunghezza d'onda prossima a quella di ricezione.

In pratica, si adottano — sia pure con metodi diversi — i medesimi provvedimenti relativi all'aumento di selettività di un comune ricevitore. Si fa cioè in modo che il ricevitore possa funzionare su una sola delle frequenze in arrivo, eliminando quelle la cui ricezione non è desiderata.

Nei ricevitori funzionanti sulla gamma più bassa delle microonde, si usano spesso due stadi di pre-selezione. Nelle gamme più elevate — invece — in corrispondenza delle quali non è possibile effettuare una vera e propria amplificazione di Alta Frequenza (mediante stadi pre-selettori), tale compito viene assolto da filtri (ossia cavità risonanti), del tipo a banda stretta. Tali cavità possono essere sintonizzate esattamente sulla frequenza di funzionamento, od inserite lungo la guida d'onda attraverso la quale il segnale in arrivo giunge al ricevitore propriamente detto. La **figura 10** illustra un secondo metodo: si tratta di una guida d'onda (del tipo connesso ad una estremità all'antenna ricevente, ed all'altra al ricevitore), lungo la quale sono presenti due dispositivi di accordo a vite, seguiti da una cavità risonante avente dimensioni diverse da quelle della linea di cui fa parte. In tal caso, l'intera linea di trasmissione (a guida d'onda), costituisce un cattivo adattamento agli effetti dei segnali aventi una frequenza diversa da quella che si desidera ricevere, e perciò raggiunge lo scopo.

Se, per aumentare la selettività, si desidera eliminare una determinata frequenza, corrispondente ad un segnale che interferisce nella ricezione, si può provvedere mediante una serie di accordi a vite. Uno di essi viene regolato in modo da apparire come un cortocircuito della guida d'onda nei confronti del segnale da respingere, per cui questo viene completamente riflesso verso la direzione di provenienza. Gli altri dispositivi di accordo vengono invece regolati in modo da evitare la riflessione della frequenza che si desidera ricevere.

Come si è detto all'inizio, le comunicazioni su microonde sono limitate alle stazioni intermedie (dette stazioni « relais »), che hanno il compito di ricevere e ritrasmettere segnali di una data emittente, consentendo la ricezione anche nelle zone in cui le caratteristiche di propagazione la impediscono. Tali stazioni possono essere del tipo a due vie (funzionanti nei due sensi, ossia — ad esempio — ricevendo da Nord e trasmettendo verso Sud, e viceversa, nei confronti di due emittenti di cui una a Nord e una a Sud). In tal caso, vengono normalmente impiegate quattro antenne, come si nota alla **figura 11-A**. Esistono tuttavia dei casi in cui può essere conveniente il funzionamento con due sole antenne, come in figura 11-**B**. In tali condizioni, è necessario adottare per dette antenne delle connessioni cosiddette *ibride*, e ciò per evitare che il segnale di uscita di uno dei due trasmettitori venga ricevuto direttamente dal ricevitore il cui ingresso fa capo alla medesima antenna.

La **figura 12** illustra un esempio tipico di connessione di questo genere. Le dimensioni effettive non hanno molta importanza, e, non appena se ne sarà compreso il funzionamento, sarà chiaro che qualsiasi dimensione può essere adatta, purchè la distanza tra *A* e *B* sia un multiplo esatto della lunghezza d'onda, e le distanze *AC* e *BC* siano anch'esse un multiplo esatto della lunghezza d'onda, più 1/4 della lunghezza stessa (sebbene *AC* e *BC* non debbano essere necessariamente eguali tra loro).

Consideriamo il percorso tra il trasmettitore e l'antenna relativa: i segnali possono passare direttamente da *A* a *C*, come pure possono passare attraverso *B*. La lunghezza del percorso più breve equivale a 10 e 1/4 volte la lunghezza d'onda, mentre quella del percorso più lungo equivale a 15 e 1/4 λ. Di conseguenza, i segnali provenienti da *A* arrivano tramite i due percorsi al punto *C* in fase tra loro, in quanto uno di detti percorsi è più lungo dell'altro, esattamente di 5 lunghezze d'onda.

La medesima cosa si verifica nei confronti del percorso compreso tra l'antenna ed il ricevitore. Tuttavia, il percorso diretto tra *A* e *B* ammonta a 5 lunghezze d'onda, e quello che passa attraverso a *C* equivale a 20 volte e mezza la lunghezza d'onda. La differenza tra i due percorsi ammonta quindi a 15,5 volte « lambda », per cui i segnali che arrivano nel punto *B* attraverso i due percorsi si eliminano a vicenda, essendo tra loro sfasati di 180°.

Un sistema di connessione ibrida consente quindi lo

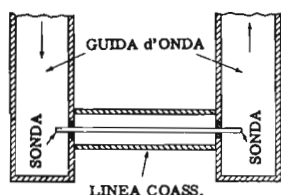



Fig. 13-A - Principio della valvola ad onda progressiva. Si considerino due guide d'onda, unite tra loro da una linea coassiale. Il conduttore interno penetra nelle due guide.

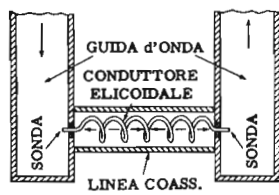



Fig. 13-C - Aggiungendo un cannone elettronico a sinistra, ed un anodo a destra, si ottiene una valvola ad onda progressiva. Le finestre consentono di praticare il vuoto, e lasciano passare le onde.

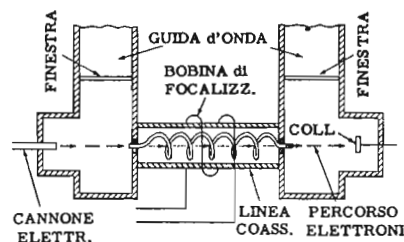



Fig. 13-B - In questo caso, il conduttore interno della linea coassiale ha un andamento elicoidale. La corrente crea un campo magnetico all'interno, indicato dalle frecce.

impiego di un'unica antenna con un trasmettitore ed un ricevitore, contemporaneamente, e senza alcun pericolo di interferenze. L'unico inconveniente consiste nel fatto che una parte dell'energia del segnale ricevuto trova la strada libera per arrivare al trasmettitore, ove è del tutto inutile pervenga. Tuttavia, in determinate condizioni, ciò non compromette completamente il vantaggio dell'impiego di una sola antenna.

VALVOLE ad ONDA PROGRESSIVA

Un tipo di valvola relativamente nuovo, e di uso non molto comune, è quello detto ad **onda viaggiante** o **progressiva**, mediante il quale è possibile una certa amplificazione ad Alta Frequenza nel campo delle microonde. Il funzionamento di questa valvola può essere compreso osservando la **figura 13**. In **A** sono illustrate due sezioni di guida d'onda unite tra loro da un segmento di cavo coassiale. A causa delle perdite relativamente elevate che si verificano nel tratto coassiale, si tratta di un dispositivo di scarso impiego. Il tratto coassiale termina, ad ogni estremità, con una sonda, una delle quali viene eccitata dalla guida d'onda di sinistra, mentra l'altra eccita — a sua volta — la guida d'onda di destra. In **B** è illustrato il medesimo dispositivo con una leggera modifica al conduttore interno del tratto coassiale, il quale ha, in tal caso, una forma a spirale. Tale forma, determinando una certa induttanza, fa sì che il segnale che percorre tale conduttore si sposti molto più lentamente che non se esso fosse diritto come in A.

Tra i due conduttori, interno ed esterno, esiste un campo elettrico, che, naturalmente, non differisce da quello che sussiste in qualsiasi altra linea coassiale. A causa della forma elicoidale del conduttore interno, inoltre, esiste un campo longitudinale, parallelo all'asse della linea, ed interno alle spire, contemporaneamente al campo normale. Il campo longitudinale è indicato nella figura 13-B dalle frecce tratteggiate.

La sezione **C** illustra una valvola completa del tipo ad onda viaggiante. In essa, le due guide d'onda laterali sono state modificate con l'aggiunta di due finestre di vetro, che non impediscono il passaggio del segnale ma che consentono di praticare il vuoto internamente alla parte sottostante della guida d'onda, in cui sono inserite. In aggiunta, è stato inserito un «*cannone elettronico*» nella guida sinistra, e, nella guida di destra, è stato installato un elettrodo *collettore*. Grazie alla presenza di tali dispositivi, è possibile far passare un fascio elettronico lungo l'asse della linea coassiale, internamente alla spirale. E' stato aggiunto esternamente un solenoide (bobina di focalizzazione), che ha il compito di controllare il passaggio degli elettroni. Il funzionamento consiste nel fatto che gli elettroni si spostano lungo la linea coassiale con una velocità maggiore di quella con cui il segnale percorre la linea costituita dal conduttore a spirale e da quello interno. A causa di ciò, l'intero dispositivo funziona in modo analogo al «klystron», nel quale — come sappiamo — avviene un processo di modulazione della velocità degli elettroni. In altre parole, la parte del conduttore elicoidale che si trova più prossima al cannone elettronico — ossia la parte alimentata dalla guida d'onda — modula in velocità la corrente elettronica. La parte restante della spirale riceve energia dal fascio, esattamente come ne ricevono le cavità del «klystron», opponendosi al passaggio degli elettroni e facendo in modo che essi compiano un lavoro contro il campo di decelerazione.

La conseguenza è che a questo lato del conduttore a spirale viene fornita energia così che l'ammontare della energia fornita alla guida d'onda destra è maggiore di quella assorbita dalla guida sinistra.

Il vantaggio maggiore consiste nel fatto che non esistono parti risonanti, per cui è possibile ottenere ampiezze di banda maggiori di 200 MHz. Per questi motivi, tale tipo di valvole consente una notevole semplificazione delle apparecchiature funzionanti su microonde (specie per la ricezione), che possono avvantaggiarsi dell'amplificazione di segnali deboli, aumentando così la sensibilità dei ricevitori e, di conseguenza, la portata utile dei trasmettitori.

Da quanto detto fino ad ora, appare evidente l'enorme differenza tra la tecnica delle microonde e quella delle frequenze inferiori, sia dal punto di vista dello impiego, che da quello dei componenti usati nelle apparecchiature relative. Un'altra notevole differenza consiste nel fatto che, nel campo delle S.H.F., il fattore stabilità di frequenza non può più essere assicurato grazie all'impiego di un cristallo di quarzo. Tuttavia, la solidità che caratterizza le cavità risonanti e le guide d'onda, nonchè le valvole speciali impiegate, è tale da assicurare una certa insensibilità alla temperatura.

DOMANDE sulle LEZIONI 148ª e 149ª

N. 1 —
Quale è il principale vantaggio derivante dall'impiego delle microonde?

N. 2 —
Per quale motivo, nella propagazione delle microonde, viene sfruttata quasi esclusivamente l'onda diretta?

N. 3 —
In quale caso si ha, da parte di un ostacolo, la massima riflessione del segnale S.H.F. in una data direzione?

N. 4 —
Quali sono i fattori che intervengono agli effetti della velocità di propagazione delle microonde?

N. 5 —
Cosa si intende per « guida d'onda »?

N. 6 —
In una guida d'onda, quale è la direzione di propagazione che viene normalmente sfruttata nell'impiego pratico di tale dispositivo?

N. 7 —
Quali sono i due fenomeni che determinano il percorso di un'onda all'interno della guida, nei cofronti delle pareti?

N. 8 —
Quali sono i vantaggi delle guide d'onda nei confronti delle linee coassiali?

N. 9 —
Da che cosa è data l'impedenza di una guida d'onda in un dato punto?

N. 10 —
Quanti e quali sono i dispositivi di accordo di una guida d'onda?

N. 11 —
Per quale motivo, una valvola di tipo normale non può funzionare con frequenze superiori a 1.000 MHz?

N. 12 —
Quale differenza sostanziale sussiste tra una valvola normale, e le valvole adatte all'impiego con le S.H.F.?

N. 13 —
Quale differenza sussiste tra il « klystron » normale, ed il « klystron reflex »?

N. 14 —
Qual'è il principio sul quale si basa il funzionamento dell'oscillatore « Barkhausen »?

N. 15 —
In quanti modi può essere impiegato un « klystron »?

N. 16 —
In quanti modi può essere impiegato un « magnetron »?

N. 17 —
In un « magnetron », quale è la direzione del campo magnetico dovuto alla presenza del magnete permanente installato all'esterno?

N. 18 —
In base a quale provvedimento è possibile usare due sole antenne in una stazione ricetrasmittente intermedia a due vie, funzionante su due frequenze diverse?

RISPOSTE alle DOMANDE di p. 1169

N. 1 — Un amplificatore che amplifica uniformemente una banda di almeno 1 MHz.

N. 2 — Con l'aumentare della larghezza di banda, il guadagno diminuisce, a causa dell'appiattimento della curva di responso.

N. 3 — Il fattore rumore è il prodotto tra il reciproco del guadagno, ed il rapporto tra il livello di rumore di uscita e quello di entrata.

N. 4 — Il fattore di merito equivale al rapporto tra la transconduttanza e la capacità interelettrodica totale della valvola.

N. 6 — A causa dell'influenza delle capacità distribuite, il guadagno diminuisce, per cui l'uscita è inferiore.

N. 7 — Le dimensioni fisiche e la capacità interelettrodica possono essere trascurate per frequenze inferiori a 30 MHz. Per frequenze superiori, invece, devono essere tenute in seria considerazione.

N. 8 — Nei componenti a caratteristica concentrata il valore è contenuto nel corpo del componente. In quelli a caratteristica distribuita è invece presente nell'intero sviluppo dimensionale.

N. 9 — Perchè, grazie alle loro caratteristiche distribuite, consentono una maggiore stabilità e perdite minori: ad esempio, una bobina di tipo convenzionale, adatta al funzionamento sulla frequenza di 200 MHz, introdurrebbe perdite a causa della presenza dei terminali di collegamento e delle connessioni alla capacità di accordo, contrariamente a quanto accade in un circuito a linea risonante.

N. 10 — In un variabile costitu[illegible] uno statore diviso in due sezioni, connesse tra loro da segmenti metallici che fungono da induttanza. Il rotore ha solo il compito di variare la capacità che tra esse sussiste, e non fa parte direttamente del circuito oscillante.

N. 11 — La capacità distribuita può essere trascurata per frequenze relativamente basse, mentre con frequenze elevate influisce notevolmente sul Q della bobina.

N. 12 — Perchè, per la loro stessa struttura, oppongono alle frequenze elevate un valore reattivo oltre ad un valore resistivo.

N. 13 — Tre: si varia la lunghezza a mezzo di un disco mobile di cortocircuito, oppure applicando un elettrodo centrale estensibile a telescopio, o ancora mediante la applicazione di una capacità variabile ad elettrodi paralleli.

N. 14 — Poichè, in tal caso, essa agisce da schermo tra il catodo e la placca, diminuendo la capacità.

N. 15 — In due triodi connessi in serie, uno dei quali agisce da valvola di ingresso (segnale applicato alla griglia): la placca di questo è connessa direttamente al catodo dell'altra che agisce da valvola di uscita (segnale prelevato dalla placca).

N. 16 — Il triodo è caratterizzato da un basso rumore e da un fattore di merito relativamente elevato; tuttavia la capacità interelettrodica implica la necessità di neutralizzazione.

IL RADAR

Il « radar » è un dispositivo elettronico mediante il quale è possibile rivelare la presenza di oggetti, determinare la loro direzione di moto e la loro distanza, e riconoscere in parte le loro caratteristiche. Tali rilevamenti vengono compiuti inviando un fascio di energia a radiofrequenza verso una determinata direzione in una zona da esplorare. Allorchè il fascio incontra un oggetto riflettente, questo reirradia una parte della energia che lo colpisce. A seconda della natura dell'oggetto, una certa quantità di tale energia torna al punto di partenza dell'onda originale: qui, in prossimità del trasmettitore, si trova un ricevitore ad alta sensibilità, in grado di ricevere i segnali riflessi, e, quindi, di rivelare la presenza in un dato punto di un oggetto o di un bersaglio.

A parte i casi in cui vengono effettuati rilievi o ricerche a carattere scientifico, l'impiego di questo tipo di apparecchiatura elettronica è particolarmente utile, sia nelle applicazioni militari a carattere bellico, in quanto consente di determinare l'eventuale presenza del nemico (aereo, flottiglia di aerei, nave, ecc.) con un margine di tempo sufficiente per prendere i provvedimenti necessari, sia nella normale navigazione aerea e marittima. Infatti, la possibilità di ricevere onde riflesse da un oggetto, e di variare la direzione sia di trasmissione che di ricezione, consente di individuare la presenza, la distanza e la posizione di oggetti (come le montagne nella navigazione aerea), coste, isole, navi ecc. (nella navigazione marittima o fluviale), evitando così che, durante la notte, o nelle zone particolarmente nebbiose, si verifichino collisioni per la mancanza di visibilità.

L'idea del « radar » naque verso il 1922, quando si osservò per caso che, se una nave passava tra un trasmettitore ed un ricevitore, rifletteva verso il primo una parte delle onde trasmesse. Da quel momento, iniziò una vera e propria ricerca, che portò, col tempo e con i successivi progressi, alla realizzazione dei moderni impianti « radar ». Tali impianti sono di diverse caratteristiche, dimensioni e potenza. Ne esistono infatti ad installazione fissa, per i centri civili o militari (aeroporti, ecc.), a forte potenza, e ad installazione mobile (su autocarri, navi, aerei, ecc.), ovviamente di dimensioni (e quindi di potenza) più ridotte.

TIPI di IMPIANTI « RADAR »

Sistema ad onde persistenti — Uno dei metodi che consente di individuare la presenza di un ostacolo, si basa su di un effetto particolare di riflessione, denominato **effetto Doppler**.

Quando l'energia a radiofrequenza, irradiata in continuità, colpisce un oggetto che si sposta avvicinandosi o allontanandosi rispetto alla sorgente di energia, questa viene riflessa, *ma con diversa frequenza*. La variazione di frequenza è appunto ciò che costituisce l'effetto « Doppler », ed un esempio di tale effetto — sia pure nella gamma delle frequenze acustiche — lo si può avere quotidianamente ascoltando il fischio di un treno in movimento.

Nel caso dell'applicazione « radar », l'apparecchiatura effettua la misura della variazione di frequenza tra l'onda trasmessa e quella ricevuta, per determinare la presenza, la velocità e la direzione di moto dell'oggetto riflettente. Ovviamente, la misura può essere effettuata con buona approssimazione se l'oggetto si muove con una velocità notevole, mentre perde la sua utilità se il movimento è lento.

Sistema a modulazione di frequenza — Se la frequenza dell'energia trasmessa viene fatta variare in continuità e periodicamente entro una determinata banda, la frequenza del segnale emesso dall'antenna trasmittente in un determinato istante differisce da quella dell'onda che colpisce l'oggetto nel medesimo istante, e la differenza è dovuta al tempo che l'onda impiega per raggiungere l'oggetto stesso. Dal momento che la differenza di frequenza dell'onda di ritorno (riflessa) equivale ovviamente al doppio della differenza di frequenza tra l'onda diretta e quella che urta contro l'oggetto, essa può servire — grazie all'impiego di delicate apparecchiature di misura — per valutare la distanza del punto in cui avviene la riflessione, ossia dell'oggetto riflettente. Naturalmente, se quest'ultimo è in movimento, la variazione di frequenza determinata dalla velocità dell'oggetto può compromettere l'esattezza della misura a causa del citato effetto « Doppler ».

Sistema con modulazione ad impulsi — L'energia a radiofrequenza può essere irradiata anche sotto forma di brevi impulsi, la cui durata può variare da 1 a 50 microsecondi (ossia milionesimi di secondo). In tal caso, se l'onda trasmessa cessa di sussistere prima che l'onda riflessa dall'oggetto abbia il tempo di tornare al punto di partenza, il ricevitore può facilmente distinguere l'impulso trasmesso da quello riflesso. Una volta tornati tutti gli impulsi di energia trasmessi, è possibile ripristinare le condizioni di irradiazione, e ripetere il ciclo.

L'uscita del ricevitore viene applicata ad un indicatore, che ha il compito di misurare l'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione degli impulsi, ed il loro ritorno al punto di partenza. Dal momento che detta energia si muove con velocità costante, l'intervallo misurato consente di valutare con molta esattezza la distanza dell'oggetto riflettente.

Questo sistema è indipendente dalla frequenza del segnale di ritorno, o dall'eventuale moto dell'oggetto riflettente; di conseguenza, vengono automaticamente eliminate le difficoltà riscontrate nei due metodi precedentemente descritti. In pratica, quest'ultimo sistema è quello che consente la massima esattezza dei rilevamenti.

DETERMINAZIONE della DISTANZA

L'impiego di un sistema « radar » a modulazione ad impulsi consiste essenzialmente nel *valutare la distanza in funzione del tempo*. Come si è detto, l'onda irradiata si propaga nello spazio a velocità costante, e, non appena essa urta contro l'oggetto riflettente, non si verifica alcuna perdita di tempo, bensì una semplice inversione della direzione di propagazione di una parte dell'energia diretta verso di esso. La velocità di propagazione — è noto — è quella della luce, ossia, espressa in funzione del percorso per unità di tempo, di 300.000 chilometri al minuto secondo, pari cioè a 300 metri per microsecondo.

E' appunto il vantaggio della propagazione a velocità costante dell'energia a radiofrequenza che viene sfruttato nell'applicazione del « radar » per misurare il tempo impiegato da un impulso trasmesso per raggiungere

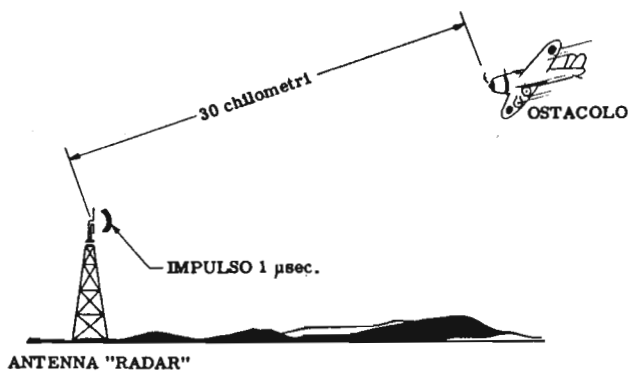
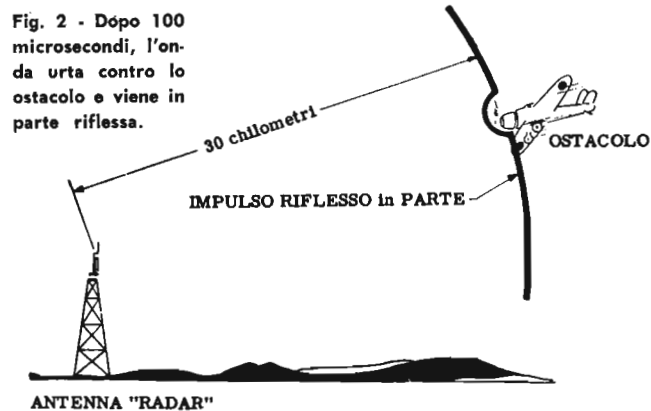



Fig. 1 - Irradiazione di un impulso, avente una durata di 1 microsecondo, diretto contro un ostacolo che dista dall'antenna 30 km.

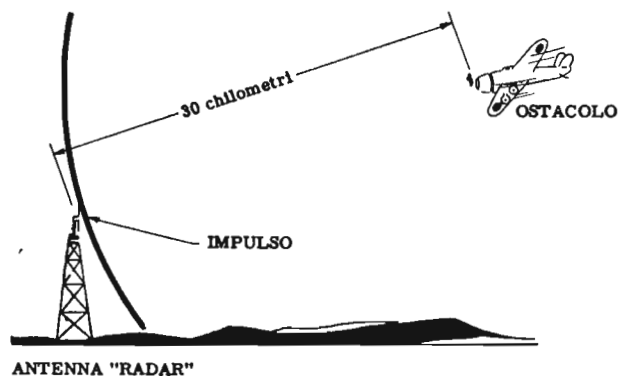
Fig. 3 - Dopo altri 100 microsecondi, (la velocità è costante), l'onda riflessa torna al punto di partenza (antenna del ricevitore).

l'ostacolo, e per tornare al punto di partenza in seguito alla riflessione. Ad esempio, supponiamo che un impulso della durata di un microsecondo venga irradiato in direzione di un oggetto che si trovi alla distanza di 30 chilometri dal trasmettitore. La **figura 1** illustra le condizioni che sussistono al momento dell'irradiazione dell'impulso.

Quando l'energia raggiunge l'ostacolo (ossia l'aeroplano), essa ha percorso la distanza di 30 chilometri alla velocità di 300 metri al microsecondo, (pari a 0,3 km/μsec). L'intervallo di tempo necessario ammonta dunque a $30 : 0{,}3 = 100$ μsec. La **figura 2** rappresenta l'istante in cui l'impulso urta contro l'oggetto: in tale istante, l'impulso viene riflesso, e l'energia torna indietro, ripetendo il percorso di andata con la medesima velocità. Dal momento che il percorso è eguale al primo (considerando trascurabile la velocità dell'aereo rispetto a quella dell'energia a radiofrequenza), il tempo necessario affinchè detto impulso torni al punto di partenza è sempre di 100 microsecondi. La **figura 3** illustra l'istante in cui l'impulso considerato torna al punto in cui è installata l'apparecchiatura « radar ».

Fig. 2 - Dopo 100 microsecondi, l'onda urta contro lo ostacolo e viene in parte riflessa.

L'intervallo di tempo totale tra l'andata ed il ritorno ammonta complessivamente a 200 microsecondi. Agli effetti pratici, di conseguenza, la velocità di propagazione viene considerata pari alla metà del suo valore effettivo, ossia di 150 metri al microsecondo. Nell'esempio citato, si ha dunque che la distanza *d* equivale a:

$$d = tempo\ in\ \mu sec \times 150 = 200 \times 150 = 30.000\ metri$$

Per poter effettuare i rilevamenti relativi alla distanza, l'impianto « radar » deve essere munito di apparecchiature atte alla misura di brevi intervalli di tempo, come sono appunto le frazioni di secondo. Oltre a ciò, dal momento che — in una stessa direzione — può esservi più di un ostacolo, deve essere previsto un mezzo che consenta di distinguere e separare gli impulsi tra loro.

Il tubo a raggi catodici si presta bene a tale scopo, in quanto esso consente la riproduzione ottica dell'immagine sullo schermo, e, contemporaneamente, l'impiego di una « base tempi » come riferimento. Quest'ultima viene impiegata in modo tale da sapere a priori quanto tempo impiega il punto luminoso a percorrere il diametro dello schermo, mediante un movimento lineare.

Il metodo di misura del tempo è illustrato nell'esempio che segue: supponiamo che il tubo a raggi catodici venga messo in funzione con un segnale orizzontale (asse dei tempi: segnale a dente di sega), avente una frequenza tale che il punto luminoso si muova lungo il diametro orizzontale dello schermo con una velocità di 25 millimetri per 100 microsecondi (0,25 millimetri al microsecondo). Il segnale di ritorno, riflesso dall'ostacolo, viene applicato alle placchette di deflessione verticale del medesimo tubo.

Mantenendo i medesimi dati enunciati nell'esempio precedente, la **figura 4** illustra l'istante in cui l'impulso di radiofrequenza parte dall'antenna trasmittente, ed in cui il segnale della base dei tempi ha inizio. Dal momento che la durata dell'impulso è di 1 microsecondo, durante tale intervallo di tempo esso giunge alla distanza di 300 metri dall'antenna, e — contemporaneamente — il punto luminoso si sposta di 0,25 millimetri lungo il diametro dello schermo.

L'impulso viene rappresentato sullo schermo da una deflessione in senso verticale, e ciò in quanto il ricevitore, la cui antenna è prossima a quella del trasmettitore, capta il segnale nel medesimo istante in cui l'antenna trasmittente lo emette. Dopo 100 microsecondi, l'impulso raggiunge l'ostacolo distante 30 chilometri, e, in tale intervallo di tempo, il punto luminoso si è spostato di 25 millimetri, (vedi **figura 5**). In tale occasione, nessun segnale eccita l'antenna del ricevitore, per cui non si ha alcuna deflessione verticale da parte del punto luminoso sullo schermo.

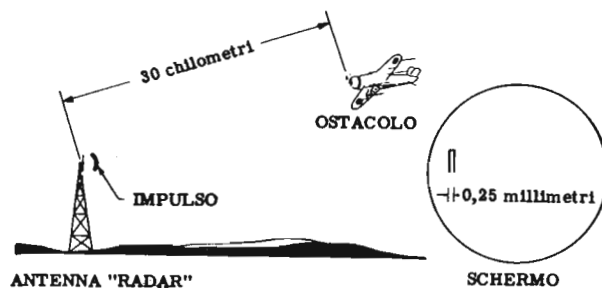



Fig. 4 - L'impulso originale trasmesso corrisponde ad una deviazione verticale del punto luminoso sullo schermo, larga 0,25 mm.

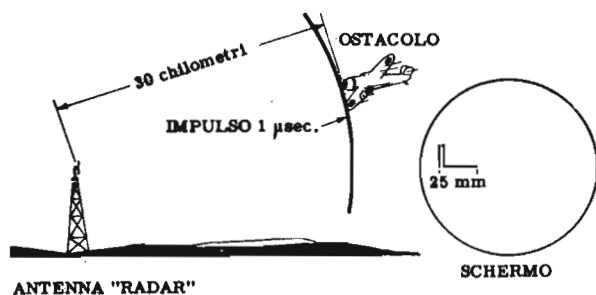



Fig. 5 - Durante i 100 microsecondi impiegati dall'onda per raggiungere l'ostacolo, il punto traccia sullo schermo una linea orizzontale.

L'impulso riflesso raggiunge l'antenna del ricevitore dopo 200 microsecondi, e, in questo tempo, il punto luminoso si è spostato complessivamente di 50 millimetri.

Nell'istante in cui il segnale riflesso viene ricevuto, e per la durata dell'impulso riflesso (sempre di un microsecondo), il punto luminoso subisce una deflessione verticale (vedi **figura 6**). Di conseguenza, se la velocità di spostamento del punto sul diametro orizzontale dello schermo è di 25 millimetri ogni 100 microsecondi, è possibile tracciare sullo schermo stesso una scala graduata, sulla quale risulti la corrispondenza tra la velocità convenzionale di 150 metri per microsecondo della energia a radiofrequenza, e lo spostamento del punto luminoso: in altre parole, la distanza di 25 millimetri tra i due impulsi verticali visibili sullo schermo indica una distanza di 15 chilometri dell'oggetto, e — nel caso considerato — una distanza di 50 millimetri tra i due impulsi verticali (figura 6), indica una distanza dell'oggetto riflettente di 30 chilometri.

Se un secondo ostacolo provocasse la presenza di un impulso di ritorno dopo 300 microsecondi, il secondo impulso, ad esso relativo, si verificherebbe ad una distanza di 75 millimetri sullo schermo, pari cioè a 45 chilometri. In base a ciò, è intuitivo che sullo schermo fluorescente del tubo a raggi catodici, è possibile tracciare una scala tarata direttamente in chilometri di distanza dall'oggetto riflettente.

La rappresentazione di un'unica traccia di emissione e di ricezione — tuttavia — non ha sullo schermo una persistenza talmente lunga da consentire la valutazione della distanza, ed inoltre non è facile far coincidere gli istanti in cui l'impulso originale viene trasmesso, ed in cui — contemporaneamente — ha inizio l'esplorazione orizzontale dello schermo da parte del punto luminoso. Per questo motivo, sia la trasmissione degli impulsi che l'esplorazione dello schermo, vengono compiute *a ripetizione*, e ad intervalli regolari. Se poi, con speciali sistemi di sincronismo, si fa in modo che le due funzioni vengano compiute contemporaneamente, i segnali originali e quelli riflessi, risultanti in due deviazioni verticali del punto luminoso, si sovrapporranno l'uno all'altro rispettivamente, facilitando la lettura con la presenza di deflessioni in un punto costante, così come illustrato alla **figura 7**.

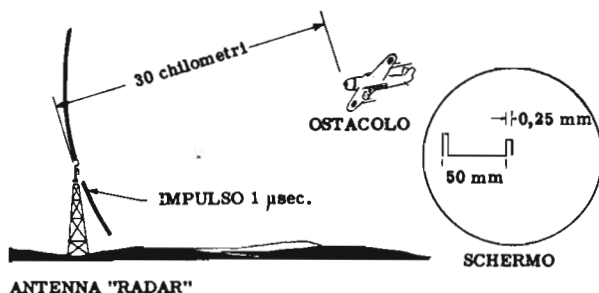



Fig. 6 - L'impulso di ritorno (eco) si manifesta sullo schermo sotto forma di una seconda deviazione verticale (più bassa), dopo 50 mm.

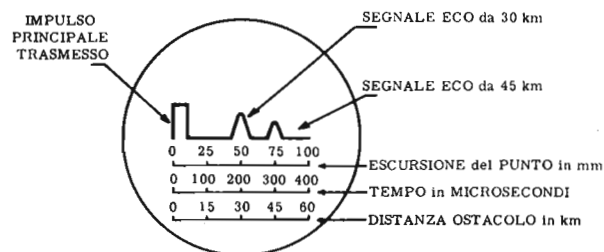



Fig. 7 - Rappresentazione di una scala riportata sullo schermo fluorescente, e corrispondenza tra tempo, distanza e velocità del punto.

DETERMINAZIONE dell'AZIMUT

La misura della direzione di moto di un ostacolo (ad esempio un aeroplano), viene compiuta di solito in base alla valutazione di un angolo detto **azimut**. Tale angolo può essere compreso tra la linea retta che unisce il punto in cui è installata l'apparecchiatura ed il polo Nord, e la linea retta che unisce il medesimo punto e l'ostacolo, (nel caso di installazione fissa a terra), oppure tra la linea lungo la quale si sposta il trasmettitore, e quella che unisce il trasmettitore e l'ostacolo (nel caso di installazioni su mezzi mobili, come navi, aerei, ecc.). L'angolo col quale il segnale riflesso viene ricevuto, è misurabile grazie alle caratteristiche direttive delle due antenne (trasmittente e ricevente).

DETERMINAZIONE dell'ALTEZZA

Anche l'altezza dell'ostacolo rispetto alla superficie terrestre può essere misurata mediante un impianto « radar ». Osservando infatti la **figura 8**, notiamo che il punto in cui si trova il trasmettitore (e quindi il ricevitore), il punto in cui si trova l'ostacolo riflettente, e la sua proiezione sulla superficie terrestre, formano un triangolo rettangolo.

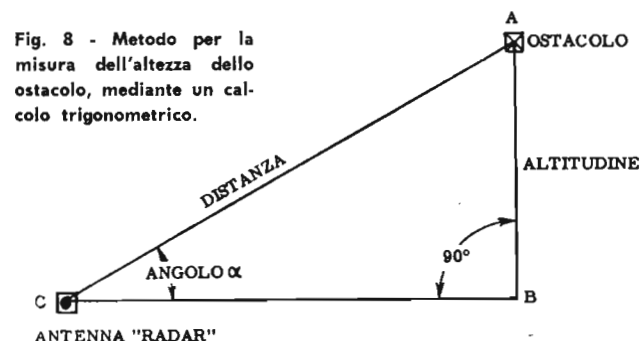



Fig. 8 - Metodo per la misura dell'altezza dello ostacolo, mediante un calcolo trigonometrico.

Le antenne emittenti e riceventi degli impianti « radar » sono generalmente munite di goniometri, che consentono di conoscere esattamente l'inclinazione della direzione del fascio d'onde rispetto alla superficie terrestre (che viene convenzionalmente ritenuta piana). In tal modo, conoscendo l'angolo formato dalla direzione di propagazione dell'onda diretta verso l'ostacolo (o da esso proveniente), e dalla superficie terrestre, e considerando che la proiezione dell'ostacolo su quest'ultima individua una retta ad essa perpendicolare, è possibile, con un semplice teorema trigonometrico, conoscere l'altezza dell'ostacolo stesso rispetto al suolo.

Apprendiamo infatti dalla trigonometria, che l'altez-

za dell'ostacolo rispetto al suolo è eguale alla sua distanza dal trasmettitore, moltiplicata per il seno dell'angolo del fascio d'onde rispetto alla superficie terrestre. Tenendo conto delle lettere di riferimento visibili nella figura ($A =$ ostacolo, $B =$ proiezione di questo sulla terra, $C =$ trasmettitore, ed $\alpha =$ angolo di propagazione rispetto alla terra), possiamo esprimere quanto detto mediante la formula:

$$AB = AC \text{ sen } \alpha$$

Nel nostro caso, se l'angolo α è — ad esempio — di 30°, avremo che:

$$AB = AC \times \text{sen } 30°$$

La distanza AC viene misurata direttamente dal « radar », e supponiamo, sia pari a 10 chilometri: avremo perciò:

$$AB = 10 \text{ sen } 30°$$

Dalle tavole trigonometriche (vedi pagina 190), apprendiamo che il seno di 30° è pari a 0,5; di conseguenza:

$$AB = 10 \times 0{,}5 = 5 \text{ km.}$$

L'ostacolo si trova quindi ad un'altezza di 5.000 metri rispetto alla superficie terrestre. Tale risultato, ovviamente, non tiene conto dell'errore (peraltro trascurabile agli effetti pratici) introdotto dalla curvatura della superficie terrestre.

Non è difficile intuire che, una volta determinata la altezza e la distanza di un oggetto, ripetendo la misura dopo un tempo determinato, è possibile, in base ai nuovi risultati, conoscere lo spazio percorso dall'oggetto (se è in moto), durante tale intervallo di tempo. Ciò consente di calcolare esattamente la sua velocità.

TIPI di ANTENNE « RADAR »

I tipi principali di elementi irradianti impiegati nelle apparecchiature « radar » sono: i sistemi complessi a dipoli raggruppati (con elementi riflettori e direttori, come nelle note antenne « Yagi »), i dipoli a riflettore parabolico, e gli elementi dielettrici usati con linee di trasmissione a guida d'onda.

La **figura 9** illustra un esempio di antenna del primo tipo: essa può consistere in una o più serie di dipoli, e può essere munita di commutatori che variano le caratteristiche del diagramma di irradiazione, inserendo o disinserendo elementi attivi. L'intero complesso è normalmente suscettibile di rotazione per effettuare la misura dell'azimut, dell'altezza, o di entrambi.

La **figura 10** illustra un tipo di antenna « Yagi », ben noto al lettore, nel quale figurano, oltre all'elemento irradiante vero e proprio, un elemento riflettore, e tre elementi direttori. Non ci dilunghiamo sulle caratteristiche di questo tipo in quanto esse sono già state descritte a proposito delle antenne per V.H.F. ed U.H.F.

La **figura 11** illustra un tipo di antenna a riflettore parabolico, anch'essa già descritta a suo tempo, che si presta meglio delle altre per irradiare onde a fascio concentrato nella gamma delle microonde. Come si è detto a suo tempo, il diametro della parabola è grande rispetto alla lunghezza d'onda del segnale irradiato, il che permette la concentrazione dell'energia a radiofrequenza in un fascio abbastanza sottile, e quindi caratterizzato da una notevole intensità, a tutto vantaggio della portata.

L'elemento irradiante (dipolo), unitamente all'elemento riflettore, visibile in figura, viene posto nel « fuoco » della parabola. A seconda della frequenza di funziona-

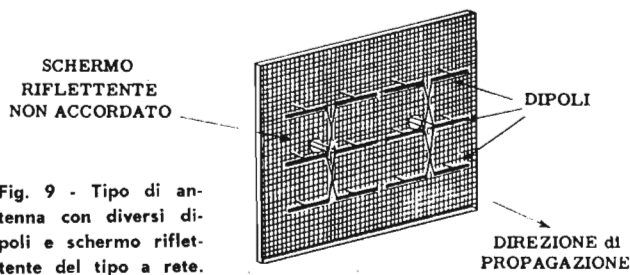
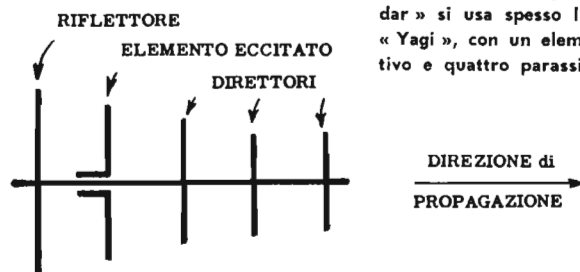



Fig. 9 - Tipo di antenna con diversi dipoli e schermo riflettente del tipo a rete.

mento, questo tipo viene connesso al trasmettitore tramite una linea coassiale, come nel caso illustrato, oppure tramite una guida d'onda. In ogni caso, per consentire l'orientamento nella direzione voluta, sia orizzontalmente che verticalmente, il supporto dell'intero complesso è snodato. In tal modo è possibile ruotare la parabola e gli elementi ad essa solidali sia lateralmente che verticalmente. E' ovvio che, per poter effettuare misure con sufficiente precisione, gli spostamenti della antenna in ogni senso vengono registrati su appositi strumenti di lettura che, sulla scorta delle rilevazioni effettuate sullo schermo fluorescente del tubo a raggi catodici, permettono di valutare la distanza, la posizione, l'altezza e l'eventuale velocità e direzione di moto dell'oggetto riflettente.

Fig. 10 - Negli impianti « radar » si usa spesso l'antenna « Yagi », con un elemento attivo e quattro parassiti.

La **figura 12**, infine, illustra un tipo di irradiatore dielettrico, normalmente alimentato tramite guide d'onda. Il loro compito consiste nell'adattare l'estremità, affinchè si abbia la massima irradiazione di energia col minimo di perdite. La direzione di propagazione delle onde ad impulsi è parallela agli elementi uscenti dalla parte frontale della guida.

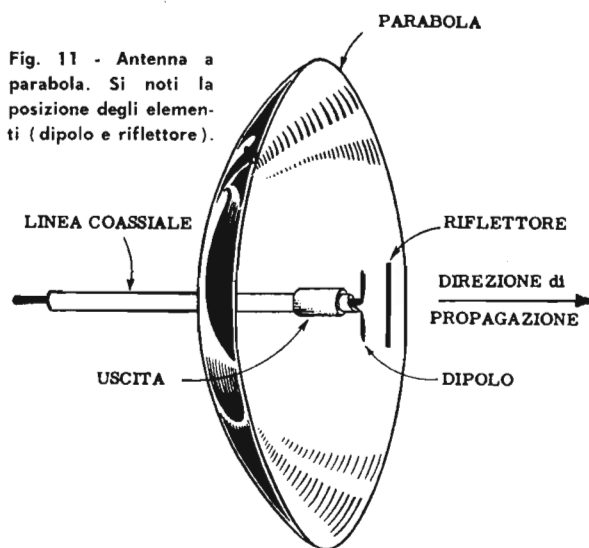



Fig. 11 - Antenna a parabola. Si noti la posizione degli elementi (dipolo e riflettore).

TIPI di INDICATORI

Il compito dell'indicatore, come già si è detto, consiste nel trasformare in manifestazioni visibili le informazioni ricevute, ossia gli impulsi di ritorno, oltre a quelli

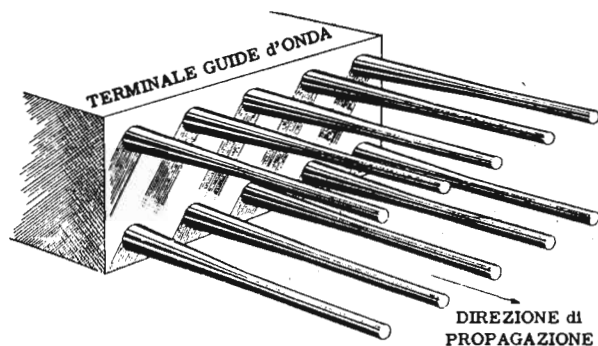



Fig. 12 - Tipo di antenna dielettrica, costituita da diverse guide d'onda, ciascuna delle quali fa capo ad un elemento irradiante.

originali, al fine di valutarne le reciproche posizioni.

Il tubo a raggi catodici rappresenta un mezzo ideale per ottenere tale trasformazione, in quanto esso non si limita a consentire la valutazione della variazione di una grandezza elettrica, come ad esempio la tensione, la corrente, ecc., bensì può dare un'indicazione abbastanza esatta del valore relativo di due o più variazioni sincronizzate.

In pratica, esso viene impiegato con circuiti analoghi a quelli descritti a proposito dell'oscillografo a raggi catodici, ed è munito dei medesimi comandi.

Il lettore ricorderà quanto detto a proposito della persistenza dell'immagine sul tubo a raggi catodici. Nel caso delle applicazioni «radar», è evidente che, per poter valutare la posizione di due impulsi presenti con un certo intervallo di tempo sullo schermo, mediante una scala appositamente riportata sullo schermo stesso, è opportuno che detti impulsi siano visibili contemporaneamente. Oltre a quanto già detto in proposito (ripetizione della traccia) si può adottare una persistenza degli strati fluorescenti di un valore maggiore che non nei tubi usati negli oscillografi a raggi catodici adatti alle misure di laboratorio. Così, pur essendovi un intervallo di diversi microsecondi tra l'impulso originale e quello di ritorno, essi risultano visibili entrambi, grazie alla maggiore persistenza.

CARATTERISTICHE GENERICHE dei « RADAR »

Il valore della frequenza portante viene scelto in base alla direzionalità desiderata, ed alle dimensioni

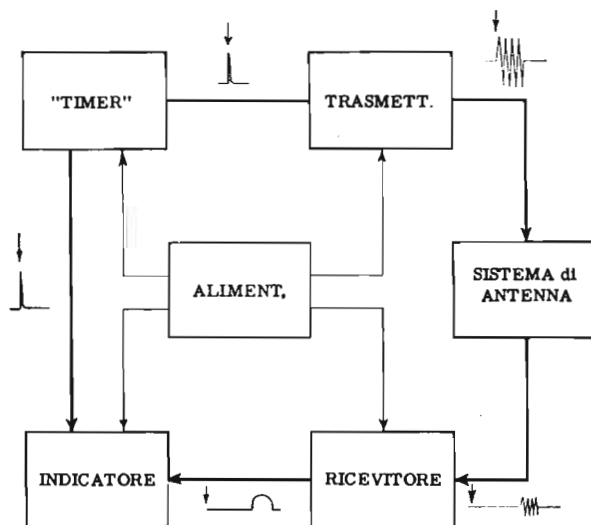



Fig. 13 - Schema a blocchi di un impianto « radar » completo. Sono rappresentati tutti i dispositivi che lo costituiscono.

massime che l'antenna o le antenne possono avere. Come sappiamo, maggiore è la frequenza, minore è la lunghezza d'onda, e minori — di conseguenza — le dimensioni dell'antenna.

Il problema della produzione e dell'amplificazione dei segnali in corrispondenza delle frequenze più elevate, si complica a causa della maggiore delicatezza e complessità delle valvole e dei componenti necessari.

La frequenza più bassa usata nelle applicazioni del «radar» non è di solito inferiore a 100 MHz; tuttavia, la gamma delle frequenze usate è compresa tra 100 e 3.000 MHz, ed in certi casi, nonostante le maggiori difficoltà costruttive, sono state adottate frequenze dell'ordine di 10.000 MHz.

Se l'intervallo tra due impulsi riflessi non è sufficiente, può accadere che il segnale corrispondente ad un'eco riflessa da un ostacolo lontano, venga soppresso dalla presenza di un nuovo impulso all'origine. La frequenza degli impulsi è quindi subordinata alla portata del trasmettitore, alla sensibilità del ricevitore, alla velocità di rotazione dell'antenna, ed alla persistenza della luminosità sullo schermo fluorescente.

Ogni impianto è, a tale scopo, corredato di uno speciale dispositivo, detto **«timer»** (per la determinazione di intervalli regolari per via elettronica), il quale ha il compito di assicurare che tutti i circuiti che prendono parte al funzionamento entrino in funzione con esatte relazioni di tempo tra loro, e che gli intervalli tra gli impulsi abbiano la lunghezza appropriata.

In altre parole, si tratta di coordinare tutte le funzioni, e precisamente la trasmissione degli impulsi mentre l'antenna è connessa all'uscita del trasmettitore, la commutazione dell'antenna sul ricevitore non appena l'impulso è stato trasmesso, ed in tempo utile affinchè possa essere ricevuto un impulso di ritorno da parte di un ostacolo presente alla minima distanza interessante. In tale frangente, avviene anche il disinnesco dell'oscillatore che produce la frequenza portante. Oltre a tutto ciò, l'intera rotazione dell'antenna (di 360°) deve avvenire con una velocità in stretta relazione col tempo che impiega il punto luminoso ad attraversare radialmente lo schermo. Questi sono appunto i compiti assolti dal « timer ».

La **figura 13** illustra lo schema a blocchi di un impianto « radar » di media potenza. Si nota un unico alimentatore che fornisce tutte le tensioni necessarie al funzionamento dei diversi dispositivi. Un altro dispositivo comune al trasmettitore ed al ricevitore è il « timer », cui abbiamo ora fatto cenno, che provvede alla sincronizzazione dei movimenti meccanici e delle diverse commutazioni. Infine, notiamo le due unità vere e proprie: il trasmettitore, che provvede alla produzione degli impulsi, ed il ricevitore. Quest'ultimo, a sua volta, è connesso all'indicatore — costituito da un tubo a raggi catodici preceduto da un numero adeguato di stadi amplificatori — sul quale i rilievi vengono effettuati direttamente.

Per concludere, ripetiamo che gli impianti « radar » sono impiegati — per le loro stesse caratteristiche — esclusivamente nel campo delle attività militari e di trasporto: per questi motivi non esiste un'attività dilettantistica nel ramo. I circuiti elettronici relativi sono frutto di studi e di esperienze che formano oggetto di tecniche alquanto complesse. Riteniamo che quanto esposto sia sufficiente a chiarire il funzionamento di questa importantissima ed utile invenzione, basata sull'impiego delle frequenze elevate delle quali ci siamo sin qui occupati.

COMUNICATO STRAORDINARIO

UNA GRANDE EVOLUZIONE NEL CAMPO DEI TESTER ANALIZZATORI !!!

La I.C.E. sempre all'avanguardia nella costruzione degli Analizzatori più completi e più perfetti, e da molti concorrenti sempre puerilmente imitata, è ora orgogliosa di presentare ai tecnici di tutto il mondo il nuovissimo **SUPERTESTER BREVETTATO mod. 680 C** dalle innumerevoli prestazioni e **CON SPECIALI DISPOSITIVI E SPECIALI PROTEZIONI STATICHE CONTRO I SOVRACCARICHI** allo strumento ed al raddrizzatore!

Oltre a ciò e malgrado i continui aumenti dei costi, la I.C.E. è riuscita, per l'alto livello raggiunto nell'automazione, a **RIDURRE ANCORA I PREZZI** dei nuovi Tester Analizzatori pur aumentandone ancora notevolmente le caratteristiche tecniche, le portate, le doti estetiche e di robustezza

IL SUPERTESTER I.C.E. MOD. 680 C con sensibilità di 20.000 Ohms per Volt è:
IL TESTER PER I RADIOTECNICI ED ELETTROTECNICI PIU' ESIGENTI!

IL TESTER MENO INGOMBANTE (mm. 126 x 85 x 28) **CON LA PIU' AMPIA SCALA!** (stessa ampiezza dei precedenti modelli 680 B e 630 B pur avendone quasi dimezzato l'ingombro!)

IL TESTER DALLE INNUMEREVOLI PRESTAZIONI (nove campi di misura e 44 portate!)
IL TESTER PIU' ROBUSTO, PIU' SEMPLICE, PIU' PRECISO!
IL TESTER SENZA COMMUTATORI e quindi eliminazione di guasti meccanici, di contatti imperfetti, e minor facilità di errori nel passare da una portata all'altra.

CARATTERISTICHE TECNICHE:

Speciale circuito elettrico **Brevettato** di nostra esclusiva concezione che unitamente ad un limitatore statico permette allo strumento indicatore ed al raddrizzatore a lui accoppiato, di poter sopportare sovraccarichi accidentali od erronei anche cento volte superiori alla portata scelta!

Pannello superiore interamente in **CRISTAL** antiurto che con la sua perfetta trasparenza consente di sfruttare al massimo l'ampiezza del quadrante di lettura ed elimina completamente le ombre sul quadrante; eliminazione totale quindi anche del vetro sempre soggetto a facilissime rotture o scheggiature e della relativa fragile cornice in bachelite opaca.

Strumento antiurto con speciali sospensioni elastiche.

Scatola base in un nuovo materiale plastico infrangibile.

Letture Ohmetriche da 1 Ohm fino a 10 Megaohms direttamente con la sola alimentazione della batteria interna da 3 Volts e fino a 100 Megaohms con alimentazione dalla rete luce. **Possibilità di misurare perfino i decimi di Ohm!!!**

Le indicazioni al fianco delle relative boccole sono eseguite in rosso per tutte le misure in corrente alternata ed in bianco su fondo nero per tutte le misure in corrente continua. Ciò rende ancora più veloce e più semplice l'individuazione della portata che si desidera impiegare e ne riduce notevolmente gli errori di manovra.

Letture dirette di frequenza, di capacità, di potenza d'uscita e di reattanza.

9 CAMPI DI MISURA E 44 PORTATE !!!

VOLTS C. C.:	**7 portate:** con sensibilità di 20.000 Ohms per Volt: 100 mV - 2 V. - 10 - 50 - 200 - 500 e 1000 V. C.C.
VOLTS C. A.:	**6 portate:** con sensibilità di 4.000 Ohms per Volt: 2 - 10 - 50 - 250 - 1000 e 2500 Volts C.A.
mA. C. C.:	**6 portate:** 50 µA. - 500 µA. - 5 mA - 50 mA. - 500 mA. e 5 A. C.C.
Ohms:	**6 portate:** 4 portate: Ω x 1 - Ω x 10 - Ω - 100 - Ω x 1000 con alimentazione a mezzo pila interna da 3 Volts 1 portata: Ohms per 10.000 a mezzo alimentazione rete luce (per letture fino a 100 Megaohms) 1 portata: Ohms diviso 10 - Per misure di decimi di Ohm - Alimentazione a mezzo stessa pila interna da 3 Volts.
RIVELATORE DI REATTANZA:	**1 portata:** da 0 a 10 Megaohms
CAPACITA':	**4 portate:** (2 da 0 a 50.000 e da 0 a 500.000 pF. a mezzo alimentazione rete luce 2 da 0 a 15 e da 0 a 150 Microfarad con alimentazione a mezzo pila interna)
FREQUENZA:	**3 portate:** 0 ÷ 50; 0 ÷ 500 e 0 ÷ 5.000 Hz.
V. USCITA:	**6 portate:** 2 - 10 - 50 - 250 - 1000 e 2500 V.
DECIBELS:	**5 portate:** da — 10 dB a + 62 dB.

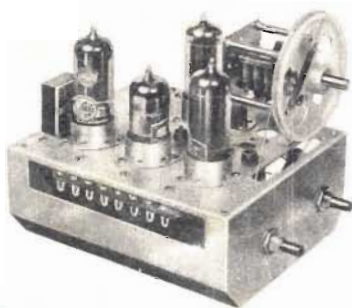
Inoltre vi è la possibilità di estendere le portate suaccennate anche per misure di 25.000 Volts C.C. per mezzo di puntale per alta tensione mod. 18 I.C.E. del costo di L. 2.980 e per **misure Amperometriche in corrente alternata** con portate di 250 mA.; 1 Amp.; 5 Amp.; 25 Amp.; 50 Amp.; 100 Amp con l'ausilio del nostro *trasformatore di corrente* mod. 616 del costo di L. 3.980.

Il nuovo **SUPERTESTER I.C.E. MOD. 680 C** Vi sarà compagno nel lavoro per tutta la Vostra vita. **Ogni strumento I.C.E. è garantito.**

PREZZO SPECIALE propagandistico per radiotecnici, elettrotecnici e rivenditori **L. 10.500 !!!** franco nostro stabilimento completo di puntali, pila e manuale d'istruzione. Per pagamenti all'ordine od alla consegna **OMAGGIO DEL RELATIVO ASTUCCIO** antiurto ed antimacchia in resinpelle speciale resistente a qualsiasi strappo o lacerazione.

Per i tecnici con minori esigenze la I.C.E. può fornire anche un altro tipo di Analizzatore e precisamente il **mod. 60 con sensibilità di 5000 Ohms per Volt** identico nel formato e nelle doti meccaniche al mod. 680 C ma con minori prestazioni e minori portate (22) al prezzo **di sole L. 6.900** - franco stabilimento - astuccio compreso. Listini dettagliati a richiesta.

I.C.E. | **INDUSTRIA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE - MILANO - VIA RUTILIA, 19/18 - TELEF. 531.554/5/6**

APPARECCHI per il traffico radiantistico
sulla banda V.H.F. (144 - 146 MHz)

4/103 - S - Gruppo VFO pilota per trasmettitore 144 ÷ 148 MHz. Controllo a cristallo. Atto al pilotaggio di una valvola tipo 832 oppure 2E26. A 4 valvole. Senza valvole e senza cristallo . . . . L. 6.800

4/151 - Convertitore per la ricezione della gamma dei 2 metri (144 ÷ 146 MHz). 4 valvole con controllo a cristallo. Uscita con FI di 26 ÷ 28 MHz. Da usare in unione ad un ricevitore con gamma 26 ÷ 28 MHz. Senza alimentatore. Con valvole e cristallo . . . . L. 29.000

4/152 - Convertitore come il 4/151, ma con alimentatore a C.A. incorporato e commutatore di antenna. Con valvole e cristallo . . . L. 36.500

GELOSO S. p. A. - Viale Brenta, 29 - Telefoni 563.183/4/5/6/7 - MILANO (808)

HEATH COMPANY

2 Meter Transceiver

MODELLO

"the Twoer"

REQUISITI

- *Emissione controllata a quarzo.*
- *Ricevitore a superreazione a sintonia continua.*
- *Massima semplificazione dei comandi.*
- *Costruzione funzionale, rifinitura accurata.*

LARIR RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

MILANO P.zza 5 GIORNATE 1 Telefoni: 795.762 - 795.763

Agenti esclusivi di vendita per:

LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI . . Soc. FILC RADIO
Piazza Dante, 10 - ROMA - telefono 736.771

VENETO . . . . Ditta E. PITTON
Via Cavallotti, 12 - PORDENONE - tel. 2244

EMILIA - MARCHE . . . . Ditta A. ZANIBONI
Via Azzogardino, 2 - BOLOGNA - telefono 263.359